

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Інженерно-хімічний факультет  
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **О. В. Гондлях**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки 133 – *Галузеве машинобудування*

на тему: Черв'ячний прес із модернізацією вузла завантаження

---

<b>Студент групи</b> <i>IV к. ЛП-61-1</i>	_____ <i>Чаруна Артем Сергійович</i>	_____
(шифр групи)	(прізвище, ім'я, по батькові)	(підпис)
<b>Керівник проекту:</b>	_____ <i>доц.к.т.н. Шилович Тетяна Борисівна</i>	_____
	(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)	(підпис)

**Консультанти**

---

**ТЕХ. МАШ.** \_\_\_\_\_ *Борщик Сергій Олександрович*

**ПЕРЕВІРКА НА СХОЖІСТЬ** \_\_\_\_\_ *Щербина Валерій Юрійович*

**РЕЦЕНЗЕНТ** \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ 2020 рік

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 133 – Галузеве машинобудування

Програма професійного спрямування - *Інжиніринг, обладнання та технології виробництв полімерних та будівельних матеріалів і виробів.*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **О. В. Гондлях**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Чарупі Артему Сергійовичу**

1. Тема проекту *«Черв'ячний прес із модернізацією вузла завантаження»*, керівник проекту *Шилович Тетяна Борисівна, к.т.н., доцент*, затверджені наказом по університету від «\_\_ . \_\_» 2020 р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проекту 11.06.2020р.
3. Вихідні дані до проекту: Черв'ячний прес ЧП63-35 для виробництва полімерної плівки із модернізацією вузла завантаження
4. Зміст пояснювальної записки: Пояснювальна записка до графічної частини із обґрунтуванням та описом конструкції, ОП, ТБ та патентним пошуком; Розрахунками, що підтверджують надійність на роботоздатність конструкції апарату; Технологія машинобудування вибраної деталі.
5. Перелік графічного матеріалу: принципова схема екструдера – А1, складальні креслення черв'яка – А1, технологія машинобудування – А2
6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Тех. машино будув.	Борщик О.С.		
	Щербина В.Ю.		

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка

Студент

Чарупа А. С.

Керівник проекту

Шилович Т. Б.

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра на тему: «Черв'ячний прес із модернізацією вузла завантаження» Виконавець – студент групи ЛП-61-1 Чарупа А.С., керівник – к.т.н., доцент. – Шилович Т. Б.

Дипломний проект (ДП) включає текстову і графічну частини. Текстова частина має 3 розділи і додатки., загальний обсяг – 94 с., 5 іл., 2 табл., 12 джерел посилань. Графічна частина містить \_\_ креслень (загальний обсяг - 4 листа креслень формату А1 і один плакат з результатами розрахунків).

Об'єкт розробки – промисловий прес ЧП-63. Мета розробки - модернізація формуючого інструменту для виробництва плівки з поліпропілену. З цією метою проведено літературний і патентний пошук, який дозволив визначити напрямок модернізації і провести конструкторську розробку модернізованого формуючого інструмента. Метою модернізації є підвищення рівнотовщинності. Для базового і модернізованого формуючого інструмента проведені інженерні параметричні і розрахунки на міцність, які підтвердили можливість використання модернізації. Розглянуто технологію виготовлення втулки, також правила ОП та ТБ.

З урахуванням покращення механічних характеристик і підвищення якості отриманого виробу, конструкція модернізованого екструдера може бути рекомендована для підприємств промисловості.

По результатам роботи, зроблена доповідь на всеукраїнській конференції і надруковані тези.

ЕКСТРУДЕР, ГОЛОВКА, КОРПУС, ЧЕРВЯК, ФЛАНЕЦЬ, ПОЛІЕТИЛЕН, термопласт, екструзія, гомогенізація, швидкість зсуву, КОЕФІЦІЄНТ ПОТОКУ НАГНІТАННЯ.

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект бакалавра на тему: " Черв'ячний прес с модернизированием узла загрузки". Исполнитель - студ. группы ЛП-61-1 Чарупа А.С., руководитель - ктн., доцент. – Шилович Т. Б.

Дипломный проект (ДП) включает текстовую и графическую части. Текстовая часть имеет 3 раздела и приложения., Общий объем – 94 с., 5 Ил., 2 Табл., 12 Источников ссылок. Графическая часть содержит \_\_ чертежей (общий объем - 4 листа чертежей формата А1 и один плакат с результатами расчетов).

Объект разработки промышленный пресс ЧП-63. Цель разработки - модернизация формирующего инструмента для производства пленки из полипропилена. С этой целью проведен литературный и патентный поиск, который позволил определить направление модернизации и провести конструкторскую разработку модернизированного формирующего инструмента. Целью модернизации является повышение ривнотовщинности. Для базового и модернизированного формирующего инструмента проведены инженерные параметрические и расчеты на прочность, которые подтвердили возможность использования модернизации. Рассмотрена технология изготовления втулки, также правила ОП и ТВ.

С учетом улучшения механических характеристик и повышения качества получаемого изделия, конструкция модернизированного экструдера может быть рекомендована для предприятий промышленности.

По результатам работы, сделан доклад на всеукраинский конференции и опубликованы тезисы.

ЭКСТРУДЕР, ГОЛОВКА, КОРПУС, ЧЕРВЯК, ФЛАНЕЦ, ПОЛИЭТИЛЕН, ,  
экструзия, гомогенизация, скорость сдвига, КОЭФФИЦИЕНТ ПОТОКА  
нагнетания.

## **ABSTRACT**

The Bachelor Diploma project on the theme " Extruder unit with the modernization of the loading tool." Developer - Charups A. S., Supervisor – Shilovich T. B.

Diploma project (DP) includes textual and graphic parts. Text of has 3 sections and appendices., Total – 94 p., 5 Ill., 2 Table., \_\_ Sources of reference. The graphical part contains drawings 12 (total - 4 letter A1 drawings and a poster with the results of calculations).

The property development - industrial presses PE-63. The purpose of development - modernization of the forming tool for producing polypropylene film. To this end, held a literary and patent search, which allowed us to determine the direction of modernization and conduct design work modernized the forming tool. The aim of modernization is to increase uniform thickness. For basic and upgraded forming tool held parametric engineering and calculations of strength, which confirmed the use upgrading. Considered technology of plugs, as the rules and OP TV.

Given the improved mechanical properties and improve the quality of the resulting product design modernized extruder can be recommended for industrial enterprises.

The results of made a report at national conferences and published abstracts.

Extruder, head, trunk, worm, flange, plastic, thermoplastic, extrusion, homogenization, shear rate, dissipation, FLOW RATE injection.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень та термінів .....	9
РОЗДІЛ I Пояснювальна записка до дипломного проекту на тему Черв'ячний прес з модернізацією вузла завантаження.....	11
Вступ.....	12
1 Призначення та область використання лінії черв'ячного преса .....	13
1.1 Опис технологічного процесу .....	13
2 Технічна характеристика .....	15
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції агрегату .....	16
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата .....	16
3.2 Вибір матеріалів для виготовлення основних вузлів і деталей апарата.....	18
3.3 Патентне дослідження .....	19
4 Охорона праці .....	27
4.1 Небезпека враження електричним струмом .....	28
4.2 Повітря робочої зони і теплове випромінювання .....	30
4.3 Виробничий шум .....	31
4.4 Промислове освітлення .....	32
4.5 Пожежна безпека.....	33
5 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації .....	36
ВИСНОВОК.....	40
РОЗДІЛ II Розрахунки.....	41
6 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного преса ЧП 63-35 .....	42
6.1 Параметричні розрахунки черв'ячного екструдера .....	42
6.1.1 Параметричний розрахунок черв'ячного екструдера.....	42
6.1.2 Розрахунок опору головки та її протитиску .....	43
6.1.3 Розрахунок продуктивності черв'ячного екструдера.....	47

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Черв'ячний прес із модернізацією вузла завантаження	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Чарупа А. С.						
Перев.		Шилович Т. Б					7	94
Н.Контр.		Шилович Т. Б				НТУУ "КП", ІХФ, ХПСМ		
Затв.								

6.1.4 Розрахунок максимального тиску на кінці черв'яка .....	49
6.1.5 Розрахунок потужності приводу черв'ячного екструдера.....	53
6.2 Розрахунок на міцність деталі черв'ячного екструдера.....	56
6.2.1 Розрахунок потужності приводу черв'ячного екструдера.....	56
6.2.2 Розрахунок черв'яка на кручення.....	60
6.2.3 Розрахунок черв'яка на жорсткість.....	61
6.2.5 Розрахунок міцності болтів.....	63
6.2.6 Розрахунок температурних напруг.....	65
6.3 Тепловий розрахунок черв'ячного преса.....	68
6.3.1 Розрахунок температурних напруг.....	68
6.3.2 Енергетичний баланс та тепловий розрахунок .....	69
ВИСНОВОК.....	75
РОЗДІЛ III Технологія машинобудування .....	76
7 Технологія машинобудування .....	77
7.1 Технологічний процес виготовлення деталі.....	77
7.2 Вибір пристосування.....	79
ВИСНОВОК.....	84
Перелік посилань.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК А ТАБЛИЦЯ РОЗГЯНУТИХ ПАТЕНТІВ.....	88
ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЧЕРВ'ЯКА.....	92
ДОДАТОК В ОСОБИСТІ ДОСЯГНЕННЯ.....	95



## Перелік умовних скорочень та термінів

Умовні позначення:

$G$  – масові втрати, кг/с;

$t$  – температура, °С;

$p$  – тиск, МПа;

$D, d$  – діаметри, м;

$\rho$  – густина,

$G$  – масові втрати, кг/с;

$t$  – температура, °С;

$p$  – тиск, МПа;

$D, d$  – діаметри, м;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – теплопровідність, Вт/(м · К);

$\mu$  – динамвчний коефіцієнт в'язкості, Па · с;

$m$  – маса, кг;

$L$  - довжини черв'яка, мм;

$N$  - потужність двигуна, кВт;

$P$  - потужність нагрівників, кВт;

$T_{\text{поч}}$  - початкова температура матеріалу, °С;

$T_{\text{кін}}$  - температура розплаву на виході, °С;

$e$  - ступінь чорноти корпусу машини;

$F$  - площа зовнішньої головки, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість оборотів червяка, об/хв;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$E$  – модуль пружності, Мпа.

Критерії:

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ І

### Пояснювальна записка до дипломного проекту на тему Черв'ячний прес з модернізацією вузла завантаження

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Виробництво термопластичних синтетичних полімерних матеріалів в Україні зростає винятково швидкими темпами. Водночас з розширенням номенклатури виробництва удосконалюється техніка переробки полімерів у виробі найрізноманітнішого призначення. Тому одними з найпоширеніших методів переробки полімерних матеріалів в наш час являються екструзійні методи. А екструзійне обладнання відповідно набуває винятково широкого застосування.

Метою проекту є підвищення продуктивності, здійснення параметричного, теплового та розрахунків на міцність основних вузлів черв'яного пресу, що підтверджують роботоздатність конструкції, а також виконання графічної частини, яка включає необхідні етапи проектування преса: загальний вигляд пресу ЧП-63, його вузлів.

Процес виробництва полімерних плівок різноманітного призначення традиційний і складається з наступних стадій:

- підготовка початкової полімерної сировини, у т.ч. з забезпеченням оптимального вмісту вологи;
- підготовка гомогенного за складом й температурою розплаву;
- формування у кільцевому зазорі між дорном та матрицею головки із забезпеченням розрахункових розмірів заготовки рукава;
- роздуву рукава;
- охолодження рукава з одночасним поздовжнім витягуванням;

Саме знання особливостей виготовлення плівок дає можливість забезпечити задану її товщину, рівнотовщинність полотна, зберегти і навіть покращити комплекс фізико-механічних та експлуатаційних властивостей початкових полімерних матеріалів.

Найбільше розповсюдження отримало виробництво плівки з поліпропілену, оскільки цей матеріал майже незамінний в такому виробництві.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1 Призначення та область використання лінії чер'ячного преса

Враховуючи розповсюдженість полімерних виробів, в останні роки людство зацікавлене у впровадженні технологій, які змогли б максимально збільшити їх якість та спростили процес виробництва. Ці фактори повинен враховувати кожен хто має відношення до розвитку сучасного полімерного господарства.

### 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема лінія для виробництва плоскої плівки на рисунку 1.1. Модернізована лінія призначена для виробництва поліпропіленової плівки.

Перероблюваний матеріал – гранульований поліпропілен ГОСТ 16337-77. Лінія може використовуватись як для промислового виробництва плівки, так і для експериментального відпрацювання технологічного процесу.

Споживачами таких ліній можуть бути невеликі фірми, спеціалізовані підприємства з виробництва упаковочних матеріалів, поліграфії та великі підприємства з великими обсягами виробництва, де випуск плівки не є основною статтею прибутку, а використовується для упаковки основної продукції. Конструкція лінії дозволяє використовувати вироблену плівку для контакта з продуктами харчування, що дає великий економічний ефект, наприклад, в овочівництві може використовуватись як тонка стретч-плівка для упаковки, так і більш товста плівка для облаштування виробничих площ.

Введення різноманітних добавок в перероблюваний матеріал, зокрема, барвників, засобів, що запобігають старінню, дозволяють отримувати продукцію з наперед визначеними покращеними показниками.

Лінія (рисунок 1.1) складається з наступних складової частин.

Черв'ячного преса 1, сушарки 2, завантажувального бункера 3, формуюча головка 4, роздувний пристрій 5, ножа 6, охолоджувального пристрою з

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роликами 7, вимірювального пристрою 8, пристрою прийомного 9.

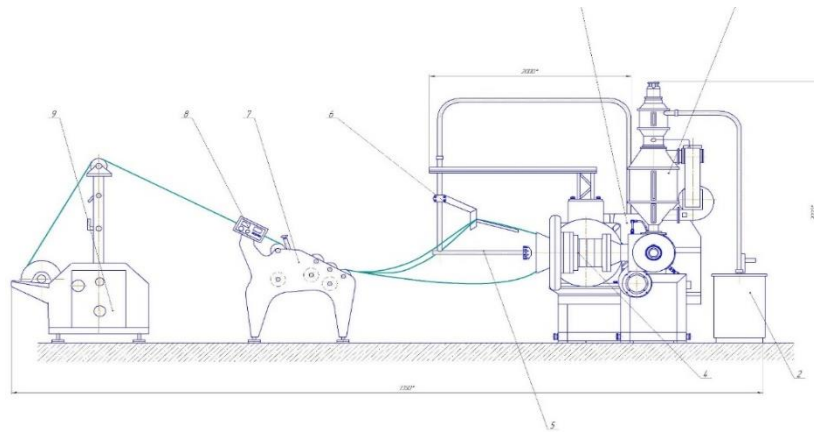


Рисунок 1.1 – Лінія для виробництва плоскої плівки

Подача сировини в бункер вакуумзавантажника здійснюється оператором.

Гранульований матеріал з бункера через завантажувальну воронку подається в зазор між черв'яком і рифленою втулкою екструдера. Подовжні пази рифленої втулки та інтенсивне водяне охолодження зони завантаження усувають обертання гранул полімеру, що подається, разом з черв'яком і надають їм поступальний рух, що дозволяє ущільнити їх до щільності монолітного матеріалу перед надходженням в зону дозування, де полімер під дією механічної енергії черв'яка і теплової енергії електронагрівачів, розташованих на корпусі, розплавляється, перемішується і у вигляді однорідної маси проходить через фільтр і видавлюється з кільцевої головки у вигляді трубчастої заготовки. Під дією охолоджуючого повітря, що подається кільцем, що охолоджує, на зовнішню поверхню заготовки, відбувається охолодження заготовки і одночасний її роздув і розтяг. Плівковий матеріал, що сформувався, за допомогою стабілізуючого пристрою, фіксується у вертикальному положенні таким чином, що його поздовжня вісь проходить через центр формуючого кільцевого зазора головки. Проходячи через складаючий пристрій, сплющується і захоплюється валками тягнучого пристрою. Далі через систему відхиляючих роликів, встановлених на естакаді, потрапляє через пристрій обрізання і відведення кромки на верстат намотувальний, де відбувається намотування плівки у вигляді полотна в рулон.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 2 Технічна характеристика

Технічна характеристика черв'ячного пресу наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика черв'ячного пресу

Параметри	Розмірність	Значення
Продуктивність	кг/год	160
Діаметр черв'яка	мм	63
Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметру	одиниць	35
Встановлена потужність електродвигуна	кВт	162
Загальна встановлена потужність нагрівників	кВт	9,4
Число обертів черв'яка	об/хв	16-160
Опір формувальної головки	МПА	75
Тиск в циліндрі	МПА	60
Маса	кг	2325
Довжина	мм	2940
Ширина	мм	930
Висота	мм	950

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції агрегату

Конструкції черв'ячних пресів є досить різноманітними [1]. На сьогодні можна зустріти досить багато варіації і модернізації окремих частин черв'ячних пресів, що напрувлені на покращення якості готової продукції і процесу плавлення і виробництва в цілому. Проте, конструкція апарата повинна задовольняти певним вимогам, які залежать від конкретних умов перебігу процесу для конкретного матеріалу (сировини). Однією з задач, що постає перед конструктором, є забезпечення оптимальних технологічних параметрів виробництва при мінімальних затратах на виробничий процес.

Вибираючи апарат, необхідно також брати до уваги простоту і компактність конструкції. Зазвичай конструкції не задовольняють повністю всім вимогам і тому знаходять певні компромісні варіанти.

Також важливим фактором, який впливає на вибір черв'ячного пресу, є вартість його виготовлення та експлуатації.

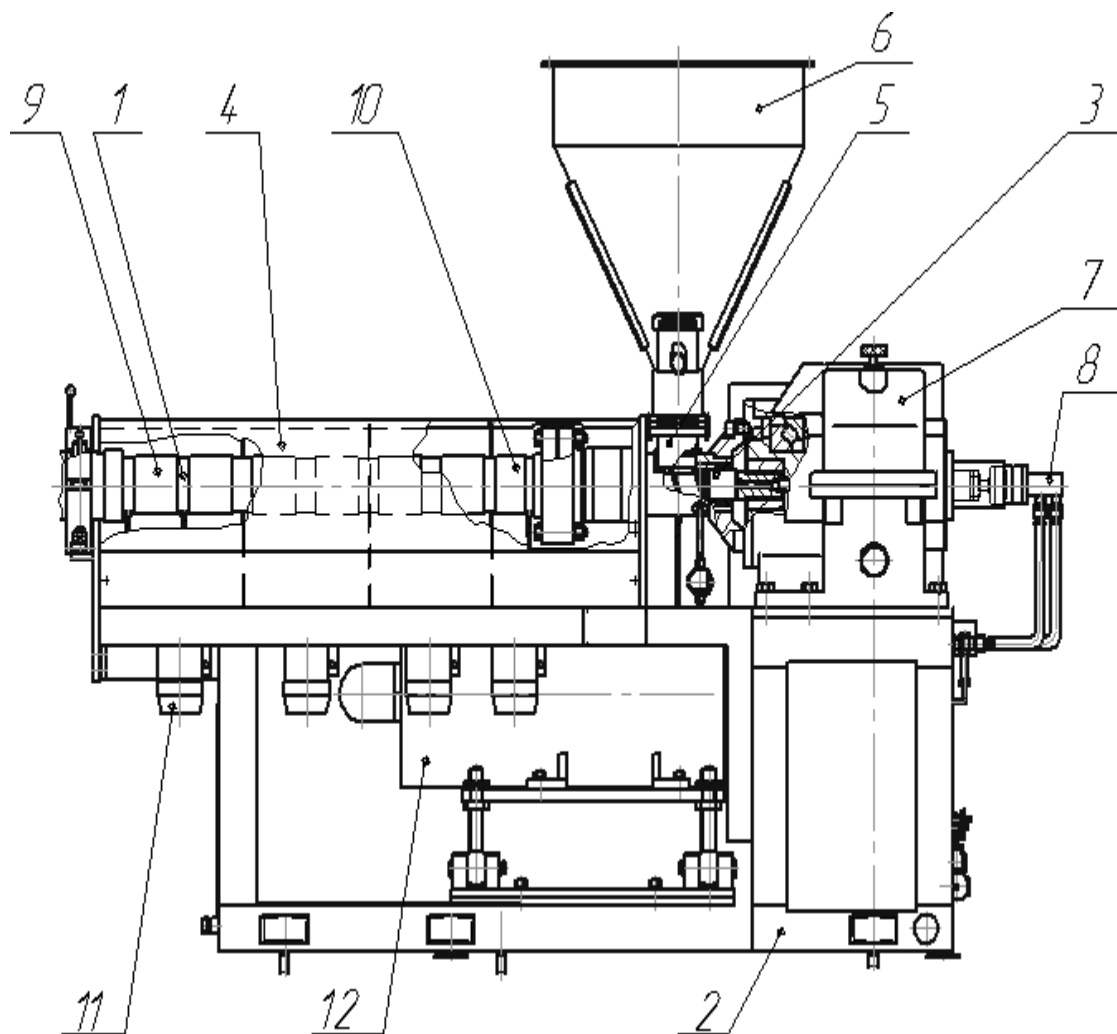
Черв'ячні преси повинні працювати при оптимальних режимах для кожного конкретного матеріалу та не повинні піддаватися робочим параметрам (тиск, напруження), що перевищують номінальні рекомендовані для конкретного черв'ячного пресу.

#### 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Прес черв'ячний ЧП-6, (рисунок 3.1), складається з циліндру із завантажувальною воронкою 5, редуктора 7, клиноременевої передачі, електродвигуна постійного току 12, черв'яків, рами 2, нагрівників 9 і 10, вентиляторів і системи повітряного охолодження циліндру 11, пристрою охолодження черв'яка 8, завантажувального бункеру 6.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





1 – циліндр преса, 2 – рама, 3 – черв'як, 4 – кожух, 5 – воронка завантажувальна, 6 – завантажувальний бункер, 7 – редуктор, 8 – пристрій охолодження черв'яка, 9, 10 – індукційні нагрівники, 11 – вентилятор, 12 – електродвигун.

Рисунок 3.1 – Черв'яний прес ЧП-63

Циліндр преса 1 представляє собою товстостінну трубу з двома фланцями та твердосплавною наплавкою всередині циліндру. Зовнішня поверхня циліндру розділена на 5 температурних зон. В кожній встановлені електронагрівники індукційні 9 і 10, а також перетворювач термоелектричний, сигнал від якого подається в комплектний пристрій терморегулювання.

В чотирьох перших зонах вентилятори охолодження присутні, в п'ятій зоні (перехідній до головки) – відсутній. В завантажувальній частині циліндру на

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

зовнішній поверхні передбачені канали для охолодження завантажувальної воронки 5 водою, витрата води регулюється вручну та за допомогою вентиляю.

Обертання черв'яка забезпечується від електродвигуна 12 через клиноремennу передачу та редуктор 7.

Для сприйняття осьових навантажень від черв'яка на тихохідному валу редуктора змонтований упорний підшипник. Редуктор змащується від насосу. В картері редуктора встановлено теплообмінник для охолодження масла водою. В системі змазки передбачено реле тиску, котре повинне давати сигнал для відключення електродвигуна приводу черв'яка при падінні тиску масла в системі менше 0,05 МПа.

До тихохідного редуктора кріпиться пристрій охолодження черв'яка 8, котре забезпечує подачу води для охолодження до черв'яку під тиском, ущільнюваними елементами являються гумові манжети. Регулювання витрати води ручне за допомогою вентиля.

Всі складальні одиниці пресу змонтовані на зварній рамі 2, а циліндр закритий спеціальним кожухом 4.

### **3.2 Вибір матеріалів для виготовлення основних вузлів і деталей апарата**

Оскільки в технології ставляться підвищені вимоги до міцності та надійності машини у відповідності з рекомендаціями вибираємо для вузлів і деталей сталь 40ХН2МА (ГОСТ 9940-88) з межею міцності при розтягуванні 200 МПа, а межею плинності 470 МПа. Болти виготовляються із Сталі 40Х (ГОСТ 1050-88), які використовуються для деталей машин з підвищеними вимогами. Шайби виготовляються із сталі Ст3 (ГОСТ 380-94); межа міцності такої сталі при розтягуванні не менше 470 МПа [2].

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Патентне дослідження

Для знаходження об'єктів порівняння для запропонованого черв'ячного преса був проведений патентний пошук. Предметом патентного пошуку є екструдери.

В патентному джерелі [3] запропоновано модернізацію, що належить до екструзійного обладнання, зокрема до робочих органів черв'ячних екструдерів для переробки матеріалів на основі високомолекулярних сполук.

Схематичне зображення черв'яка екструдера, що описаний в даному патенті, неведено на рисунку 3.2.

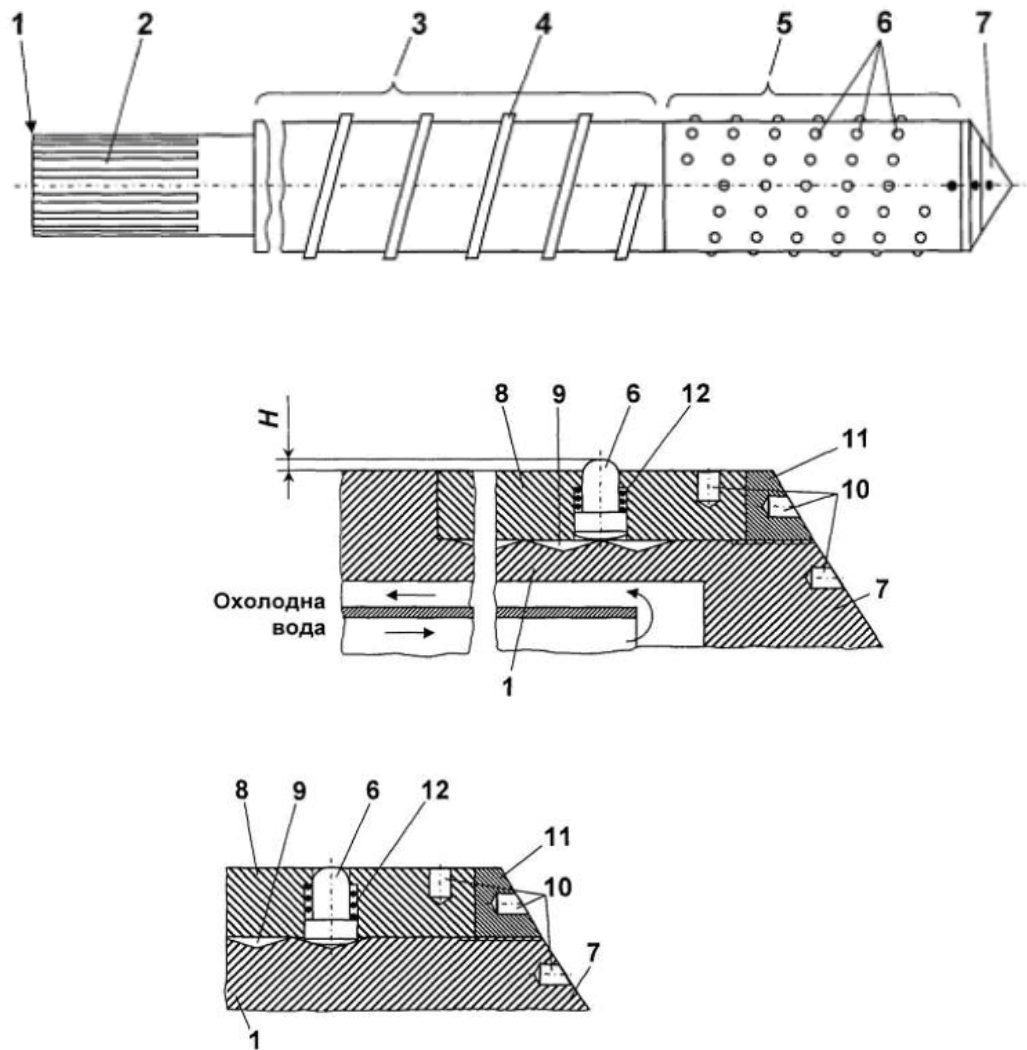


Рисунок 3.2 – Черв'як екструдера, що описаний в патенті [3]

Черв'як екструдера містить вал 1 з послідовно розміщеними хвостовиком 2, ділянкою 3 з гвинтовим гребенем 4, ділянкою 5 зі штифтами 6, а також наконечником 7 (Рисунок 3.2). Ділянка 5 зі штифтами 6 виконана у вигляді втулки 8, вал 1 на ділянці 5 зі штифтами 6 виконано з гвинтовою нарізкою 9, при цьому штифти 6 розміщені в стінці втулки 8 і встановлені з можливістю контакту з гвинтовою нарізкою 9 вала 1 і зворотно-поступального переміщення, а втулка 8 встановлена на валу 1 з можливістю повороту й фіксації в заданому положенні (Рисунок 3.2). Поворот втулки 8 на валу 1 здійснюють за допомогою ключа (не показано), розміщеного в отворах 10, а фіксацію втулки 8 у заданому положенні відносно вала 1 – за допомогою нарізного кільця 11. Штифти 6 підтискаються до гвинтової нарізки 9 вала 1 за допомогою пружин 12

Черв'як працює в такий спосіб.

Залежно від властивостей перероблюваного матеріалу й режимів його переробки нарізне кільце 11 трохи скручують з вала 1, а потім, утримуючи вал 1 від повороту, обертають втулку 8. Залежно від кута повороту втулки 8 гвинтовою нарізкою 9 виставляють штифти 6 на потрібну висоту, після чого втулку 8 (а отже і виставлені штифти 6) фіксують на валу за допомогою нарізного кільця 11. Контроль висоти Н виходу штифтів 6 над поверхнею втулки 8 сприяють пружини 12, які забезпечують постійний контакт штифтів 6 з гвинтовою нарізкою 9 вала 1. Після цього черв'як монтують в корпусі екструдера (не показано) і здійснюють переробку матеріалу за рахунок обертання черв'яка в нерухомому корпусі й забезпечення необхідних температурних режимів як корпуса, так і черв'яка екструдера.

В патенті [4] запропоновано модернізацію, яка направлена на інтенсифікацію процесу змішування та диспергування компонентів перероблюваної композиції із полімерних матеріалів.

Запропонована ідея належить до обладнання для перероблення термопластичних матеріалів, у тому числі й композиційних, і може бути

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використана в полімерпереробних екструзійних лініях, зокрема при виготовленні робочого органу одно- або дво-черв'ячних екструдерів. Схематичне зображення черв'яка екструдера даного патенту наведено на рисунку 3.3.

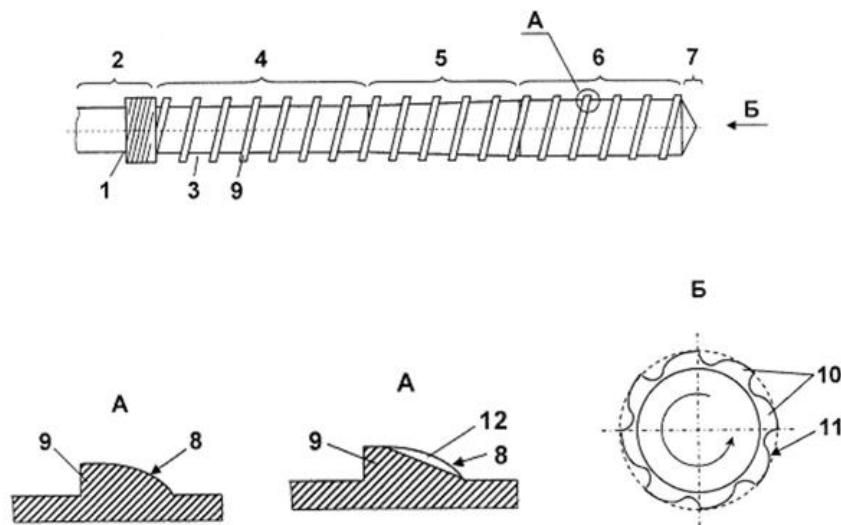


Рисунок 3.3 – Черв'як екструдера, що описаний в патенті [4]

Черв'як екструдера містить вал 1 з послідовно розташованими хвостовиком 2, спорядженими гвинтовою нарізкою 3 зонами подавання 4, плавлення 5 і дозування 6, а також наконечником 7. Штовхальний заплечик 8 гребеня 9 нарізки 3 зони дозування 6 виконано опуклим з поздовжніми виступами 10, бокові грані 11 яких скошені в бік обертання черв'яка. На скошених бокових гранях 11 поздовжніх виступів 10, при цьому, можуть виконані поперечні пази 12.

Черв'як працює в такий спосіб.

Перероблюваний термопластичний матеріал послідовно просувається нарізкою 3 від зони подавання 4 через зону плавлення 5 до зони дозування 6, поступово нагріваючись та ущільнюючись. У зоні дозування 6 розплавлений матеріал під впливом опору формувальної головки (не показана) потрапляє в проміжок, утворений штовхальним заплечиком 8 гребеня 9 нарізки 3 і корпусом (не показано) екструдера. Зазначений проміжок сходиться як в напрямку від

наконечника 7 до хвостовика 2 черв'яка, так і в коловому напрямку, завдяки чому в об'ємі розплаву забезпечуються інтенсивні змінні деформації зсуву, що істотно інтенсифікує процес перемішування розплаву, а отже його гомогенність. Поперечні пази 12 при цьому істотно інтенсифікують процеси змішування та диспергування компонентів перероблюваної композиції.

Автори патенту [5] пропонують корисну модель, що належить до обладнання для перероблення термопластичних матеріалів, у тому числі й композиційних, і може бути використана в полімерпереробних екструзійних лініях, зокрема при виготовленні робочого органу одно- або двочерв'ячних екструдерів.

Схематичне зображення запропонованої корисної моделі наведено на рисунку 3.4.

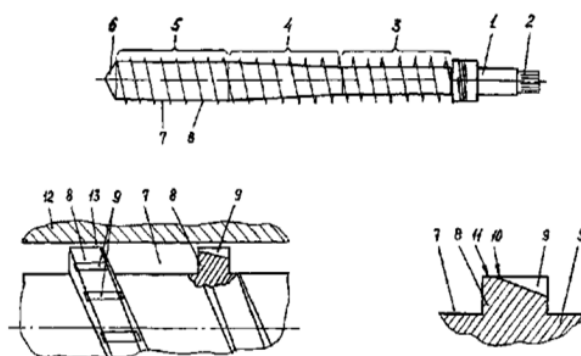


Рисунок 3.4 – Елемент черв'як екструдера, що описаний в патенті [5]

Черв'як екструдера містить вал 1 з послідовно розташованими хвостовиком 2, зонами живлення 3, стискання 4 і дозування 5, а також наконечником 6. При цьому вал 1 на зазначених ділянках 3-5 споряджений гвинтовою нарізкою 7, а на гребені 8 нарізки 7 зони дозування 5 виконані розташовані поперечно йому пази 9, які скошені в бік хвостовика 2 вала 1. Вихід

10 пазів 9 з боку наконечника 6 вала 1 може бути виконаний на зовнішній поверхні 11 гребеня 8 нарізки 7.

Перероблюваний термопластичний матеріал просувається нарізкою 7 від зони живлення 3 через зону стискання 4 до зони дозування 5, поступово нагріваючись та ущільнюючись. У зоні дозування 5 розплавлений матеріал під впливом опору формувальної головки (не показана) частково намагається перетікти через гребінь 8 нарізки 7, але, потрапляючи в пази 9, він поступово гальмується. Наявність матеріалу в пазах 9 при цьому зменшує тертя черв'яка об корпус 12 екструдера, що не тільки підвищує надійність машини в цілому, але й також сприяє зменшенню потоку витoku перероблюваного матеріалу крізь зазор 13 "черв'як - корпус екструдера".

В наступному патенті [6], що представляє корисну модель, що може відноситися до до екструзійного обладнання, зокрема до робочих органів черв'ячних екструдерів для перероблення матеріалів на основі високомолекулярних сполук. Її схематичне зображення наведено на рисунках 3.5а – 3.5б.

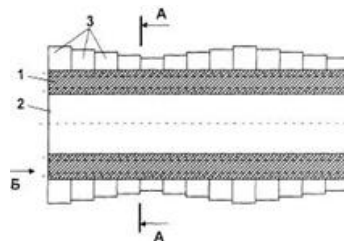


Рисунок 3.5а – Змішувальна секція черв'яка екструдера [6]. Вид спереду

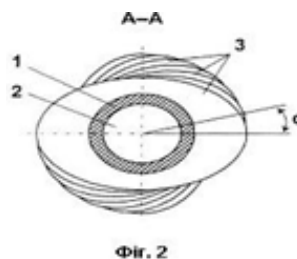


Рисунок 3.5б – Змішувальна секція черв'яка екструдера [6]. Поперечний переріз

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Змішувальна секція містить корпус 1 з центральним шліцьовим отвором 2, а також послідовно розміщеними на ньому змішувальними елементами, зміщеними по куту один відносно одного на кут (рисунок 3.5а). Корпус 1 виконано у вигляді циліндричної втулки із шліцами 4 на її зовнішній поверхні, а кожний із змішувальних елементів 3 у вигляді розміщеного на циліндричній втулці кулачка з центральним шліцьовим отвором 5 (Рисунок 3.5б).

Залежно від властивостей перероблюваного матеріалу й режимів його перероблення змішувальні елементи 3 розмішують на корпусі 1, знятому для зручності з осердя черв'яка (не показано), з певним кутовим зміщенням, а один відносно одного (як за величиною, так і за знаком).

Після цього складену змішувальну секцію встановлюють на осердя черв'яка екструдера (не показано), який, у свою чергу, монтують у корпусі екструдера.

В даному патенті [7] наведено корисну модель, що належить до екструзійного обладнання, зокрема до робочих органів черв'ячних екструдерів для перероблення матеріалів на основі високомолекулярних сполук.

Її схематичне зображення наведено на рисунку 3.6а – 3.6в.

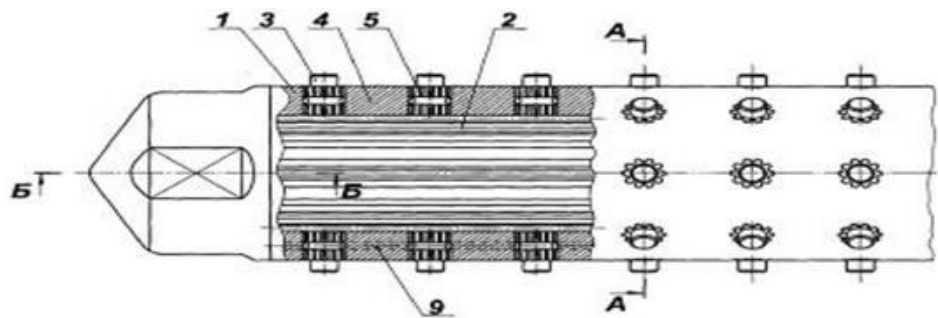


Рисунок 3.6а – Робочий орган черв'ячного екструдера [7]. Вид спереду



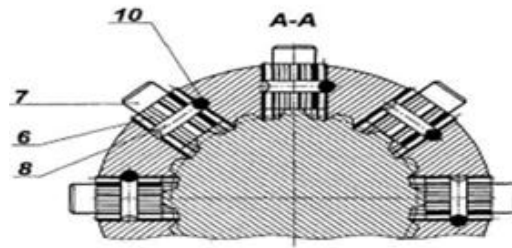


Рисунок 3.6б – Робочий орган черв'ячного екструдера [7]. Поперечний переріз

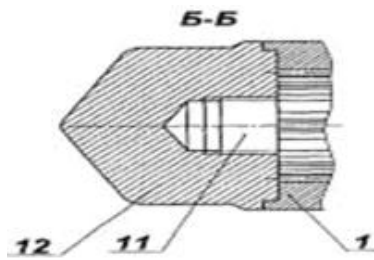


Рисунок 3.6в – Робочий орган черв'ячного екструдера [7]. Розріз Б-Б

Змішувальна секція черв'яка екструдера містить корпус, виконаний у вигляді циліндричної втулки 1 з центральним шліцьовим отвором 2, а також послідовно розміщеними на ній змішувальними елементами 3. Циліндричну втулку 1 виконано з радіальними шліцьовими отворами 4, а кожний із змішувальних елементів 3-у вигляді розміщеного у відповідному радіальному шліцьовому отворі 4 циліндричної втулки 1 стрижня зі шліцьовою 5 і робочою 6 ділянками, при цьому на шліцьовій ділянці 5 кожного стрижня виконано кільцеву проточку 7, а в циліндричній втулці 1 - поздовжні отвори 8 з розміщеними в них фіксаторами 9, встановленими з можливістю взаємодії з кільцевими проточками 7 відповідних стрижнів. Циліндричну втулку 1 фіксують на осерді 10 черв'яка нарізним наконечником 11.

Залежно від властивостей вихідної сировини й режимів її перероблення змішувальні елементи 3 з робочими ділянками 6 певних форми й розмірів

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

вставляють у радіальні шліцьові отвори 4 циліндричної втулки 1 з боку її зовнішньої поверхні.

Після цього в поздовжні отвори 8 вставляють фіксатори 9. Остаточну складену змішувальну секцію встановлюють на осердя 10 черв'яка екструдера, а на нарізний кінець осердя 10 черв'яка накручують нарізний наконечник 11, унеможливаючи випадання фіксаторів 9 з поздовжніх отворів 8 під час роботи екструдера.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Охорона праці

У відповідності до Закону України «Про охорону праці» виробничі будови, приміщення, обладнання та технологічні процеси повинні відповідати вимогам, що задовольняють безпечним умовам праці. Машини та механізми, що проектуються, повинні відповідати вимогам виробничої безпеки та санітарії. Жодний зразок нової машини не може бути переданий у серійне виробництво доки не буде відповідати вимогам охорони праці.

Охорона праці й навколишнього середовища включає в себе питання безпеки праці, усунення причин травматизму і попередження професійних захворювань, аварійних ситуацій на виробництві; питання правової охорони праці.

Відповідно до теми дипломного проекту «Модернізація теплообмінника-утилізатора установки вісбрекінгу» на стадії виробництва при роботі лінії розробляються заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

Технологічний процес установки вісбрекінгу відноситься до вибухопожежонебезпечних виробництв, тому що за своїми фізико-хімічними властивостями використовуються на установці вісбрекінгу нафтопродукти, які є пожежо- та вибухонебезпечними речовинами.

При роботі оператора на робочому місці, площа  $S = 12,04 \text{ м}^2$  і об'єм якого  $V = 30,1 \text{ м}^3$  відповідно, існують такі шкідливі і небезпечні виробничі фактори:

- 1) електронебезпека;
- 2) пожежна небезпека;
- 3) вибухонебезпека;
- 4) промислове освітлення;
- 5) виробничий шум і вібрації;
- 6) повітря робочої зони і теплові випромінювання;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.1 Небезпека враження електричним струмом

Через те, що установка може розташовуватися на відкритому повітрі, згідно Правил устрою електроустановок (ПУЕ) вона відноситься до особливо небезпечних [8].

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц. Нейтраль ізольована.

Причини враження обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- пробій на корпус;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.

Трифазні ланцюги відповідно Правил устрою електроустановок (ПУЕ) при напрузі до 1000 В застосовуються як трьохпровідні мережі з ізольованою нейтраллю.

Небезпека враження для людини визначається опором ізоляції і людини. Зі збільшенням цих опорів небезпека зменшується.

Безпека експлуатації обладнання забезпечується рядом організаційних і технічних заходів захисту: використання малих напруг, захисним розділенням мереж, контролем і профілактикою пошкодження ізоляції, подвійною ізоляцією, забезпеченням недоступності до струмоведучих частин, застосуванням засобів індивідуального захисту і т. ін.

Приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. В робочому режимі електробезпека забезпечується недоступністю – блокуванням доступу до елементів обладнання які знаходяться під напругою. В аварійному

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимі електробезпека забезпечується заземленням, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.030-89

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках виконуються наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця

З метою запобігання травм приймаються такі заходи безпеки:

- рубильники вмикання установки знаходяться у спеціальній шафі;
- передбачається спеціальне захисне вимикання електродвигунів у випадку враження людини струмом;
- дроти проводяться в захисних металевих рукавах;
- на панель керування виводяться сигнальні лампи індикації вмикання електроустаткування;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для приєднання заземлення.

Заземлення установки виконано відповідно ГОСТ 12.1.030–81.

Біля затисків заземлення нанесені незмивні червоні знаки “Земля” за ГОСТ 21.1.030–75.

Електрична міцність ізоляції перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини.

Опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм.

Електрична апаратура, яка встановлена всередині приміщень, має ступінь захисту IP–54 ГОСТ 14254–80.

Ізоляція провідників вимірюється мегаомметром 11044 ТУ 25–04–798–18.

Напруга вимірюється вольтметром 351512 ТУ 25–04–1970–80.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь захисту електричної апаратури всередині приміщень контролюється за ГОСТ 14254–80 .

Інструмент має неструмопровідний корпус і ізольовані ручки. При роботі використовуються гумові рукавички, чоботи, індикатори напруги, що розташовують поблизу щита.

В аварійному режимі захисне заземлення  $R_{\text{заз}}=3,8$  Ом за ГОСТ 12.1.030-82.

#### 4.2 Повітря робочої зони і теплове випромінювання

У приміщенні дотримуються оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції.

Параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні для даної категорії робіт наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні.

Сезон року	Категорія робіт – 1б					
	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптим.	Фактич.	Оптим.	Фактич.	Оптим.	Фактич.
холодний	19–25	19–20	Не більше 75	40–65	Не більше 0,2	0,2
Теплий	19–25	20– 25	Не більше 75	40–70	Не більше 0,2	0,2

При виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням, в кабінетах, пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та ін. дотримуються оптимальні умови мікроклімату: температура повітря 22...24°С, відносна вологість 60...40%, швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри повітря робочої зони відповідають ГОСТ 12.1.005–88. Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70–90 °С, а в теплий час року – приточно - витяжною вентиляцією ДСН 3.3.6.042–99.

У схемі вісбрекінгу безперервно циркулюють небезпечні і шкідливі гази та пари. Тому оптимальні умови мікроклімату досягаються сукупним використанням природної вентиляції – провітрюванням приміщення та кондиціонуванням повітря.

Температура апарату є достатньо високою (залежить від перероблюваного матеріалу і може сягати понад 300 °С). Існує небезпека отримання опіків працюючих та є велике теплове випромінювання. В підрозділі 5.9 був проведений розрахунок теплової ізоляції, що використовується для зменшення температури апарату до встановлених стандартами, для зменшення теплових втрат в навколишнє середовище та зменшити інфрачервоне випромінювання. На основу даного розрахунку проведено теплову ізоляцію парату. Ізоляційний шар використовується з мінеральних мас за ГОСТ 21880-94.

Теплова ізоляція є найефективнішим і найбільш економічним заходом щодо зменшення в даному випадку ІЧ випромінювання (зменшуються загальні тепловиділення), запобігання опіків, скорочення витрат палива. Згідно діючих СН температура нагрітих поверхонь устаткування та огорожень не повинна перевищувати 45°С. Застосовують також внутрішню теплоізоляцію – футеровку для зниження температур робочих поверхонь конструкцій й устаткування.

#### 4.3 Виробничий шум

Для зниження рівня звукового тиску всі вентилятори встановлені на вібропідставці, з'єднання їх з повітроводами виконуються у вигляді гнучких вставок. В системі вентиляції встановлюються шумопоглиначі.

Джерелами шуму на установці вісбрекінгу є:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- насоси , встановлені під етажеркою і в приміщеннях ;
- апарати повітряного охолодження
- пальники печі.

Обладнання знаходиться в місцях періодичного перебування обслуговуючого персоналу.

Рівень шуму і вібрації під час роботи не повинен перевищувати допустимого ГОСТ 12.1014-79 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности»).

Рівень звукового тиску (дБ) в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку (дБА) для постійних робочих місць при працюючій установці у яких фактичні показники дорівнюють 60дБА та не перевищують допустимих величин, установлених ДСН № 3.3.6.037–99.

Рівні звукового тиску знижуються за допомогою встановлених на установці захисних кожухів.

#### 4.4 Промислове освітлення

Правильно спроектоване та виконане освітлення на підприємствах машинобудівної промисловості забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Зберігання зору, стану нервової системи людини та безпека на виробництві у значній мірі залежить від умов освітлення.

Приміщення з ЕОМ мають природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение”.

В денний час виробниче приміщення освітлюється природним світлом.

Для природного освітлення вибираємо нормативне значення КПО, що дорівнює 1,0. Перевіримо значення КПО за допомогою розрахунку природного освітлення. Природне світло проникає через 4 бічні світлопрорізи, розміри яких 1.5×1.2м, зорієнтовані на північ і забезпечує коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Вікна приміщень з відеотерміналами мають регулювальні пристрої для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки.

Загальне освітлення виконане у вигляді суцільних ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць паралельно лінії зору працівників.

Для загального освітлення застосовуються світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками, укомплектовані височастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА).

Як джерело світла при штучному освітленні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від  $50^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах складає не більше  $200 \text{ кд/м}^2$ , а захисний кут світильників не більший за  $40^{\circ}$ .

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів складає 200 лк. Для забезпечення нормативного рівня освітленості 300лк

застосовуються світильники місцевого освітлення - опорні світильники для установлення на столі, що відповідає вимогам СНиП II-4-79.

Також використовується система вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного і дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

#### 4.5 Пожежна безпека

Технологічний процес установки вісбрекінгу відноситься до вибухонебезпечний -ному виробництву, тому що за своїми фізико-хімічними властивостями обертаються на уста - новки вісбрекінгу нафтопродукти є пожежо- та вибухонебезпечними речовинами.

До них належать нафта, метан, бутан, бензин, пропан, бутан, газойль.

За температурою самоспалахування ці вибухонебезпечні суміші газів і парів відносяться за ГОСТ 12.1.011-78 до таких груп:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T1 > 748 K (метан, бензол, пропан);

T2 573-723 °C (бутан, бензин);

T3 473-573 °C (нафта, газойль);

Категорія приміщень В, відповідно до ОНТП 24 клас зони 2 – тверді горючі речовини.

Вогнестійкість будинку за СНиП 2.01.02-85 відповідає ступеню вогнестійкості II.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільше ймовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;
- використання вогню в неналежному місці.

Запобігання загорання забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з хорони праці серед обслуговуючого персоналу;
- організація агітації з протипожежної безпеки;
- наявність засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежегасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, коври, вогнегасники).

Для гасіння невеликих ділянок загорання при вимкнутому електроустаткуванні застосовують вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 (3 шт.). Для гасіння включених електромереж приймаємо порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.).

У приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів один від

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одного повинні бути встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу повинна бути не більш 40 метрів. Кількість виходів – не менш двох. Ширина прорізу двері евакуиходу – 2 метри. Двері евакуиходу повинні відкриватись назовні. Це відповідає СНиП 2.09.02–85.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації

Монтаж лінії виконується в підготовленому для експлуатації приміщенні з температурою оточуючого середовища не менше +150С.

Перевірити наявність підйомно-транспортних механізмів вантажопідйомністю не менше 15т.

Доставити обладнання в упакованому вигляді (згідно до креслень заводу-виробника) до місця монтажу.

При розпаковуванні обладнання лінії необхідно дотримуватись застережних заходів для уникнення пошкодження складальних одиниць, контрольно-регулюючих пристроїв і пофарбованих поверхонь.

Знайдені пошкодження упаковки знімають відповідальність з заводу-виробника за гарантію комплектності і справності обладнання, яке знаходиться в пошкодженій упаковці.

Перевірити комплектність упаковки у відповідності з переліком.

Стан лінії, її комплектність і готовність приміщення до монтажу фіксується

актом і підтверджується головним інженером заводу-споживача.

Провести роз консервацію обладнання у відповідності з вимогами ГОСТ 9.014-78.

Проводячи розпаковування і роз консервацію, дотримуватися обережності, щоб не пошкодити апаратуру і фарбування.

Перед монтуванням обладнання необхідно ознайомитися з конструкцією лінії, схемами строповки вузлів і особливими вимогами до монтування, вказаними у паспорті.

При розробці проекту прив'язки замовнику і проектній організації необхідно забезпечити приведені в технічному завданні вимоги по забезпеченню класу зони приміщення по ПУЕ, санітарних норм і правил безпеки.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Монтаж лінії проводити при наявності акта готовності фундаменту і акта завершення будівельних робіт.

При монтуванні дотримуватись положень ГОСТ 24444-87, а також вимог техніки безпеки і промислової санітарії.

Лінія повинна монтуватися на першому поверсі чи на міжповерховому перекритті, яке допускає навантаження, яке відповідає масі лінії.

План розташування колодязів під фундаментні болти, а також інші вказівки і рекомендації по розташуванню обладнання вказані на складальному кресленні лінії.

Строповка пристроїв лінії при монтуванні необхідно виконувати у відповідності зі схемами строповки, наведеними в паспорті. Під вертикальні гілки тросів необхідно підкладати дерев'яні бруски, які запобігають від пошкодження кожуха, трубопроводів деталей, що виступають обладнання яке підіймають.

При монтуванні лінії необхідно забезпечити:

1) прямолінійність рейкових шляхів в горизонтальній площині.

Відхилення від прямолінійності не більше 1 мм на довжині 1 м;

2) паралельність рейкових шляхів в горизонтальній площині.

Відхилення від паралельності не більше 0,3 мм на довжині 1 м;

3) горизонтальність осей преса двох черв'ячного і розплавлювача черв'ячного.

Відхилення від горизонтальності не більше 0,5 мм.

Регулювання положення рейкових шляхів і черв'ячних машин виконати установочними гвинтами до заливки фундаментних колодязів бетоном.

При встановленні обладнання лінії на рейкових шляхах забезпечити:

1) горизонтальність твірних середнього валка каландра гладильного, нижнього валка пристрою тягучого і роликів рольгангу охолоджуючого. Відхилення від горизонтальності не більше 2 мм;

2) паралельність щілини головки твірним середнього валка каландра. Відхилення від паралельності не більше 1мм;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) плоско-паралельність роликів рольганга відносно спільної дотичної площини. Допуск плоско-паралельності - 2 мм на всій довжині рольганга;

4) несиметричність стола стопіровочного відносно осі направляючих рейок, не більше 3 мм.

Пристрої, встановлені на рейковому шляху, повинні бути встановлені упори для коліс, передбачені на цих пристроях.

Підливку преса черв'ячного бетоном, при установці його на фундаменті, виконувати після монтування розплавлювача, головки на візку, установки візка на рейки направляючі, вивірення їх і з'єднання з пресом.

Підвід комунікацій (електрокабелів, повітря, теплоносія) до каландру виконувати з урахуванням можливості переміщення каландру по направляючих рейках при обслуговуванні головки на довжині не менше 700мм і при демонтуванні черв'яка на довжину не менше 3000мм.

Витяжну вентиляцію, яка включає установку зонта над головою, виготовлення і установку повітроводів, забезпечує замовник.

Комплект пристроїв управління встановлюється замовником на місці, зручному для обслуговування.

При прокладанні електрокабелів від візка від каландра гладильного, пристроїв охолоджуючого і тягнучого до клемної коробки передбачити запас проводів і рукавів для теплоносія на їх переміщення на відстань 800мм.

Обладнання повинно бути заземлено в співвідношенні з вимогами ПУЕ. Опір ланцюга захисту не повинен перевищувати 0,1Ом.

Зовнішні комунікації води, повітря, теплоносія від станцій до обладнання, які виконує замовник при монтуванні лінії згідно до проекту, обладнання не повинні ускладнювати підходи до обладнання і утворювати незручність при експлуатації та ремонті лінії. Трубопроводи для підводу теплоносія до валків каландра гладильного і преса, пристрої охолоджуючі повинні бути розташовані в лотках і закриті жорсткими щитами на рівні з підлогою.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електромонтажні роботи по монтуванні комплекту пристроїв управління повинні проводитися у співвідношенні з вимогами СНіП 3.05.07-85, СНіП3.01.01-85, СНіП Ш-3-81, СНіП Ш-4-80.

Електромонтажні роботи виконуються у відповідності з робочою документацією, яка виконується організацією, яка здійснює проектну прив'язку обладнання на промислових майданчиках замовника.

Монтажні роботи, які пов'язані з електрообладнанням, проводяться спеціалізованою електромонтажною організацією, яка залучається безпосередньо споживачем лінії, чи основною підрядною будівною організацією, яка очолює будівництво об'єкту споживача лінії.

Електромонтажна організація веде роботи у відповідності з розробленим нею планом виробництва електромонтажних робіт (ППР) на основі робочої документації.

До початку монтажу комплекту пристроїв управління в приміщенні повинні бути виконані будівельні роботи, передбачені проектом прив'язки.

У виробничих приміщеннях в місцях, передбачених для монтажу пристроїв автоматизації, повинні бути завершенні будівельні роботи, розібрані опалубки, будівельні ліса, а також прибране сміття.

Приміщення повинно бути обладнано опаленням, вентиляцією, освітленням, повинно мати скляні вікна і дверні полотна.

Після завершення монтування оформляється акт готовності лінії до пусканалагоджувальних робіт.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

В даному розділі було розглянуто актуальність дослідження і модернізації процесу екструзії шляхом використання черв'ячних пресів.

Було описано технологічну схему виробництва полімерної плівки при використанні черв'ячного преса ЧП 63-35. Наведено його основні складальні одиниці, вибрано основні матеріали та наведено технологчні параметри його роботи.

Було проведено патентне дослідження. Проаналізовано загальні підходи в конструкції черв'яків екструдерів і процесу екструзії в цілому. В додатку А наведено патенти, що були використані під час патентного дослідження.

Було проведено аналіз шкідливих факторів, таких як: електробезпека, повітря робочої зони, шум і освітлення. Встановлено, що вони відповідають нормативним документам і параметрам.

Наведено рекомендації щодо монтажу та експлуатації черв'ячного преса ЧП 63-35.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**РОЗДІЛ II**

**Розрахунки**

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного преса ЧП 63-35

### 6.1 Параметричні розрахунки черв'ячного екструдера

#### 6.1.1 Параметричний розрахунок черв'ячного екструдера

Черв'як є основним вузлом черв'ячної машини і призначений для транспортування полімерного матеріалу від завантажувальної воронки до формуючої головки, а також для пластикації гранул, ретельного перемішування розплаву і набору необхідного тиску для видавлювання з головки.

Діаметр черв'яка є одним з основних параметрів, що характеризують продуктивність черв'ячної машини.

У представленій лінії використовується екструдер з черв'яком діаметром  $D=63\text{мм}$ , відношення довжини робочої частини до його діаметра  $L/D=35$ .

Інші параметри черв'яка вибираються в залежності від матеріалу, що переробляється. У даному випадку матеріалом, що переробляється, є поліетилен і базові параметри черв'яка обчислюються виходячи з залежностей представлених нижче.

Крок гвинтової лінії черв'яка:

$$t = (0,8 \div 1,2) \cdot D = 1 \cdot 63 = 63 \text{ мм.}$$

Товщина гребеня черв'яка:

$$e = (0,08 \div 0,1) \cdot D = 0,095 \cdot 63 = 6 \text{ мм.}$$

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \div 0,003) \cdot D = 0,0024 \cdot 63 = 0,15 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу під завантажувальною воронкою:

$$h_1 = (0,12 \div 0,16) \cdot D = 0,127 \cdot 63 = 8 \text{ мм.}$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $i=2,1$  –ступінь стиску поліетилену.

Довжина торпеди з мішалкою:

$$L_{\text{торп}} = (0,6 \div 0,8) \cdot D + 70 = 0,7 \cdot 63 = 115 \text{ мм.}$$

Довжина робочої частини черв'яка приймається:

$$L_{\text{раб}} = 35 D = 35 \cdot 63 = 1890 \text{ мм.}$$

Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{\text{загр}} = (1,5 \div 3) \cdot D = 2,5 \cdot 63 = 157,5 \text{ мм.}$$

Довжина зони дозування приймається:

$$L_{\text{доз}} = (3 \div 6) \cdot D = 5 \cdot 63 = 315 \text{ мм.}$$

Довжина зони стиску приймається:

$$L_{\text{сж}} = L_{\text{раб}} - L_{\text{доз}} - L_{\text{загр}} = 1890 - 315 - 157,5 = 1417,5 \text{ мм}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймається:  $L_{\text{ев}} = 170 \text{ мм}$ ;

Довжина відбійної частини приймається:

$$L_{\text{отб}} = (0,1 \div 0,5) \times D = 0,3 \cdot 63 = 25 \text{ мм}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$L = L_{\text{раб}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{отб}} + L_{\text{торп}} = 1890 + 170 + 25 + 115 = 2200 \text{ мм.}$$

### 6.1.2 Розрахунок опору головки та її протитиску

Формули засновані на спрощеному аналітичному методі розрахунку коефіцієнта геометричної форми головки, дозволяють визначити характеристики каналів простих форм з достатньою для практичних розрахунків точністю.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Весь шлях проходження розплаву через канал головки розіб'ємо на декілька простіших складових і проведемо розрахунок.

1. Круглий циліндричний канал:

$$K_{\sigma} = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L},$$

де d-діаметр круглого циліндричного каналу,

L-довжина круглого циліндричного каналу

$$K_1 = \frac{3,14 \cdot 3,6^4}{128 \cdot 60} = 0,1 \text{ см}^3.$$

2. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де R<sub>1</sub>- середній радіус отвору на вході;

R<sub>0</sub>- середний радіус отвору на виході;

δ<sub>1</sub>-висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

δ<sub>2</sub>-висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

L-довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (0,7 - 9,5)^2}{(0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1)^2} \cdot \lg \frac{0,7 \cdot 1}{9,5 \cdot 1} - \frac{(0,7 - 9,5) \cdot (1 - 1)}{(0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 1} - \frac{1^2 - 1^2}{2 \cdot 1^2 \cdot 1^2} = -2,6 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$K_2 = \frac{3,14 \cdot (0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1)}{6 \cdot 16 \cdot (-2,6)} = 0,11 \text{ см}^3.$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Решітка:

$$K_p = \frac{z \cdot \pi \cdot d_p^4}{128 \cdot b},$$

де  $z$  – кількість отворів;

$d_p$  - діаметр окремих отворів в решітці в см;

$b$  – товщина решітки в см.

$$K_3 = \frac{160 \cdot 3,14 \cdot 0,7^4}{128 \cdot (-2,7)} = 0,35 \text{ см}^3.$$

### 4. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де  $R_1$ - середній радіус отвору на вході;

$R_0$ - середний радіус отвору на виході;

$\delta_1$ -висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

$\delta_2$ -висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

$L$ -довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (9,4 - 9,8)^2}{(9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1)^2} \cdot \lg \frac{9,4 \cdot 0,4}{9,8 \cdot 1} - \frac{(9,4 - 9,8) \cdot (1 - 0,4)}{(9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 0,4} - \frac{1^2 - 0,4^2}{2 \cdot 1^2 \cdot 0,4^2} = -2,7 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_4 = \frac{3,14 \cdot (9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1)}{6 \cdot 1 \cdot (-2,7)} = 1,17 \text{ см}^3.$$

5. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де  $R_1$ - середній радіус отвору на вході;

$R_0$ - середний радіус отвору на виході;

$\delta_1$ -висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

$\delta_2$ -висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

$L$ -довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (9,5 - 15,8)^2}{(9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73)^2} \cdot \lg \frac{9,5 \cdot 0,2}{15,8 \cdot 0,73} - \frac{(9,5 - 15,8) \cdot (0,73 - 0,2)}{(9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73) \cdot 0,73 \cdot 0,2} - \frac{0,73^2 - 0,2^2}{2 \cdot 0,73^2 \cdot 0,2^2} = -14,72 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$K_4 = \frac{3,14 \cdot (9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73)}{6 \cdot 8 \cdot (-14,72)} = 0,43 \text{ см}^3.$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми для всієї головки можна визначити, як суму опорів окремих ділянок головки :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\hat{E}_1} + \frac{1}{\hat{E}_2} + \frac{1}{\hat{E}_3} + \frac{1}{\hat{E}_4} + \frac{1}{\hat{E}_5}},$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,07} + \frac{1}{0,11} + \frac{1}{0,35} + \frac{1}{1,17} + \frac{1}{0,043}} = 0,0199 \text{ см}^3.$$

### 6.1.3 Розрахунок продуктивності черв'ячного екструдера

Робочий процес черв'ячної машини в цілому залежить не тільки від геометричних розмірів черв'яка і процесів, що протікають у його каналах, але також від геометрії, конфігурації головки черв'ячної машини, і її профільюючих елементів.

Об'ємна продуктивність через головку на передній частині черв'ячної машини прямо пропорційна падінню тиску  $\Delta P$  і обернено пропорційна в'язкості

маси  $\mu$ : 
$$Q = K \cdot \frac{\Delta P}{\mu}.$$

Також рівняння продуктивності можна представити таким чином:

$$Q = \frac{a \cdot K}{K + \beta + \gamma} \cdot n,$$

де  $K$  - коефіцієнт пропорційності, що залежить від геометрії головки - коефіцієнт геометричної форми головки;  $n$  - число обертів черв'яка за хвилину;

$\alpha$  - постійна прямого потоку для черв'яка з перемінною глибиною гвинтового каналу:

$$\alpha = \frac{\pi^3 \cdot (t - \lambda \cdot e) \cdot \sigma}{a + t^2 \cdot b},$$

$\beta$  - постійна зворотного потоку для черв'яка з перемінною глибиною гвинтового каналу:

$$\beta = \frac{\pi \cdot t - (t - \lambda \cdot e)}{12 \cdot L_r \cdot (a + t^2 \cdot b)},$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\gamma$  - постійна протитоку для черв'яка з перемінною глибиною гвинтового каналу:

$$\gamma = \frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3 \cdot t^2}{10 \cdot e \cdot L_f \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + t^2}},$$

де  $\sigma$  - коефіцієнт залежний від геометричних розмірів черв'яка:

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot D}{2 \cdot (h_i - h_2)} \cdot \lg \frac{h_i}{h_2} + \frac{D^2}{2 \cdot h_i \cdot h_2},$$

b- коефіцієнт, розрахований за формулою:

$$b = \frac{2,3}{(h_i - h_2) \cdot D^3} \cdot \lg \frac{h_i \cdot (D + d_2)}{h_2 \cdot (D + d_1)} + \frac{2 \cdot h_i \cdot h_2 + (h_i - h_2) \cdot D}{2 \cdot D^2 \cdot h_i^2 \cdot h_2^2},$$

a-коефіцієнт, розрахований за формулою:

$$a = \frac{\pi^2}{h_i \cdot h_2} \cdot \left( \frac{D \cdot (h_i + h_2)}{2 \cdot h_i \cdot h_2} - 1 \right),$$

де  $h_1$ -глибина гвинтового каналу в зоні завантаження;

$h_n$ - глибина гвинтового каналу на початку зони дозування;

$h_2$ - глибина гвинтового каналу на кінці черв'яка;

$L_n$ -довжина зони дозування;

$D$ -зовнішній діаметр черв'яка;

$d_1$ -діаметр сердечника в зоні дозування;

$d_2$ - діаметр сердечника на кінці черв'яка;

$e$ - ширина гребеня витка черв'яка;

$\delta$ -зазор між черв'яком і гільзою.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Підставивши у вище приведені рівняння значення величин, обчислимо значення продуктивності черв'ячної машини по зоні дозування з урахуванням впливу головки :

$$a = \frac{3,14^2}{0,53 \cdot 0,35} \cdot \left( \frac{6,3 \cdot (0,53 + 0,35)}{2 \cdot 0,53 \cdot 0,35} - 1 \right) = 646 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$b = \frac{2,3}{(0,53 - 0,35) \cdot 6,3^3} \cdot \lg \frac{0,53 \cdot (6,3 + 5,6)}{0,35 \cdot (6,3 + 5,3)} + \frac{2 \cdot 0,53 \cdot 0,35 + (0,53 + 0,35) \cdot 6,3}{2 \cdot 6,3^2 \cdot 0,53^2 \cdot 0,35^2} = 2,46 \frac{1}{\text{см}^4}.$$

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot 6,3}{2 \cdot (0,53 - 0,35)} \cdot \lg \frac{0,53}{0,35} + \frac{6,3^2}{2 \cdot 0,53 \cdot 0,35} = 96,3.$$

$$\alpha = \frac{3,14^3 \cdot (6,5 - 2 \cdot 0,5) \cdot 96,3}{646 + 6,5^2 \cdot 2,46} = 22,6 \text{ см}^2.$$

$$\beta = \frac{3,14 \cdot 6,5 - (6,5 - 2 \cdot 0,5)}{12 \cdot 76 \cdot (646 + 6,5^2 \cdot 2,46)} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3.$$

$$\gamma = \frac{3,14 \cdot 6,3 \cdot 0,015^3 \cdot 6,5^2}{10 \cdot 0,5 \cdot 76 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 6,3^2 + 6,5^2}} = 0,357 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3.$$

$$Q = \frac{22,6 \cdot 0,0199 \cdot 150}{0,0199 + 0,15 \cdot 10^{-3} + 0,357 \cdot 10^{-6}} = 3435,5 \frac{\text{см}^3}{\text{хв}} = 160,78 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

#### 6.1.4 Розрахунок максимального тиску на кінці черв'яка

Перепад тиску в головці при відомих значеннях продуктивності і коефіцієнта геометричної форми головки визначають по формулі:

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \mu_z}{K}$$

де Q-продуктивність черв'ячної машини,

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

К - коефіцієнт геометричної форми головки,

$\mu_e$  - ефективна в'язкість (визначається з графічної залежності).

Падіння тиску в головці складається з втрат тиску на окремих ділянках.

При визначенні коефіцієнта геометричної форми головки були обрані окремі ділянки, що в основному створюють опір проходу розплаву в головці і сума яких дає загальний перепад тиску.

1. Для циліндричного круглого каналу швидкість зсуву визначається за формулою:

$$S = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3},$$

де Q - продуктивність черв'ячної машини;

d-діаметр циліндричного круглого каналу.

$$S_1 = \frac{32 \cdot 57,26}{3,14 \cdot 3,6^3} = 12,5 \text{ c}^{-1}.$$

За графіком знаходимо ефективну в'язкість поліетилену при температурі розплаву 190°C и швидкості зсуву 12,5 c<sup>-1</sup>

$$\mu_{y1} = 16 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Перепад тиску в круглому циліндричному каналі складає :

$$\Delta P_1 = \frac{57,26 \cdot 16 \cdot 10^3}{0,07} = 13,1 \text{ МПа}$$

2. Для конічного каналу швидкість зсуву визначається за формулою:

$$S = \frac{2,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_0 + R_1) \cdot (\delta_1 + \delta_2)^2}$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $R_1$ -середній радіус кола на виході;

$R_0$ -середній радіус кола на вході;

$\delta_1$  - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

$\delta_2$  - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини.

$$S_2 = \frac{2,32 \cdot 57,26}{3,14 \cdot (0,7 + 9,5) \cdot (1+1)^2} = 1,04 \text{ c}^{-1}.$$

За графіком знаходимо ефективну в'язкість поліетилену при температурі розплаву  $190^\circ\text{C}$  и швидкості зрушення  $1,04 \text{ c}^{-1}$  :

$$\mu_{e3} = 25 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Перепад тиску в конічному каналі:

$$\Delta P_2 = \frac{57,26 \cdot 25 \cdot 10^3}{0,11} = 13,0 \text{ МПа}.$$

3. Для решітки швидкість зрушення визначається за формулою:

$$S = 8 \cdot Q \cdot D,$$

де  $D$ -діаметр отвору решітки.

$$S_3 = 8 \cdot 57,26 \cdot 0,7 = 320 \text{ c}^{-1}.$$

За графіком знаходимо ефективну в'язкість поліетилену при температурі розплаву  $190^\circ\text{C}$  и швидкості зрушення  $320 \text{ c}^{-1}$  :

$$\mu_{e3} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Перепад тиску в решітці:

$$\Delta P_3 = \frac{57,26 \cdot 2,8}{0,35} = 0,46 \text{ МПа}.$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Для кінцевого кільцевого каналу з кінцевою щільною швидкість зрушення визначається за формулою:

$$S = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_0 + R_1) \cdot (\delta_1 + \delta_2)^2},$$

де  $R_1$ -середній радіус кола на виході;

$R_0$ -середній радіус кола на вході;

$\delta_1$  - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

$\delta_2$  - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини.

$$S_4 = \frac{22,32 \cdot 57,26}{3,14 \cdot (9,4 + 9,8) \cdot (1 + 0,4)^2} = 10,82 \text{ c}^{-1}.$$

За графіком знаходимо ефективну в'язкість поліетилену при температурі розплаву  $190^\circ\text{C}$  і швидкості зсуву  $10,82 \text{ c}^{-1}$ :

$$\mu_{es} = 18 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Перепад тиску в кінцевому каналі:

$$\Delta P_4 = \frac{57,26 \cdot 18 \cdot 10^3}{1,17} = 0,88 \text{ МПа}.$$

5. Для кінцевого кільцевого каналу з кінцевою щільною швидкість зрушення визначається за формулою:

$$S = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_0 + R_1) \cdot (\delta_1 + \delta_2)^2},$$

де  $R_1$ -середній радіус кола на виході;

$R_0$ -середній радіус кола на вході;

$\delta_1$  - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta_2$  - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини.

$$S_5 = \frac{22,32 \cdot 57,26}{3,14 \cdot (9,5 + 15,8) \cdot (0,73 + 0,2)^2} = 18,6 \text{ c}^{-1}.$$

За графіком знаходимо ефективну в'язкість поліетилену при температурі розплаву 190°C і швидкості зсуву 18,6 c<sup>-1</sup>:

$$\mu_{e5} = 20 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Перепад тиску в кінчному каналі:

$$\Delta P_5 = \frac{57,26 \cdot 20 \cdot 10^3}{0,043} = 9,6 \text{ МПа}.$$

Загальний тиск у головці:

$$\sum \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5,$$

$$\sum \Delta P = 13,1 + 13,0 + 0,46 + 0,88 + 9,6 = 37,04 \text{ МПа}.$$

### 6.1.5 Розрахунок потужності приводу черв'ячного екструдера

Потужність, яка витрачається черв'ячною машиною для переробки пластичних мас, йде на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі черв'яка і на зріз матеріалу в зазорі між гребенем і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи.

Потужність черв'ячної машини:

$$N = N_1 + N_2,$$

де  $N_1$  -потужність, що витрачається на проштовхування маси по гвинтовому каналу черв'яка:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_1 = \frac{10^{-4} \cdot \pi^3 \cdot (t-e) \cdot L \cdot j \cdot \mu_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cdot n^2}{36 \cdot t} + \frac{10^{-3} \cdot a_2 \cdot \Delta P \cdot n}{6};$$

$N_2$  -потужність, що витрачається на подолання тертя матеріалу у зазорі між вершиною витка і стінкою циліндра:

$$N_2 = \frac{10^{-4} \cdot \pi^3 \cdot D \cdot e \cdot L \cdot \mu_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cdot n}{36 \cdot \delta \cdot t};$$

J-коефіцієнт, обчислений за формулою:

$$j = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{(D+d_2)-(D+d_1)}{3 \cdot (d_2-d_1)} + \frac{2,3 \cdot \pi^2 \cdot D^5}{(t^2 + \pi^2 \cdot D^2) \cdot (h_i - h_2)} \cdot \lg \frac{h_i}{h_2};$$

t - крок гвинтової нарізки черв'яка;

D- зовнішній діаметр черв'яка;

$\Delta p$ -перепад тиску в головці;

$d_1$ -діаметр черв'яка в зоні дозування;

$d_2$ -діаметр сердечника на кінці черв'яка;

$a_2$ -постійна прямого потоку;

$h_n$ -глибина нарізки на початку зони дозування;

$h_k$ -глибина нарізки на кінці черв'яка;

L-довжина зони дозування;

e-ширина гребеня витка черв'яка;

$\delta$ -радіальний зазор.

$$j = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 - 4 \cdot 0,065^2}{3,14^2} + \frac{(0,063+0,056)^3 - (0,063+0,053)^3}{3 \cdot (0,056-0,053)} +$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$+ \frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,063^5}{(0,065^2 + 3,14^2 \cdot 0,063^2) \cdot (0,53 \cdot 10^{-3} - 0,35 \cdot 10^{-3})} \times \lg \frac{0,53 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 10^{-3}} = 5,92 \text{ м}^2.$$

Швидкість зсуву в гвинтовій нарізці черв'яка для визначення ефективної динамічної в'язкості можна отримати за формулою:

$$S = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60 \cdot \delta \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + t^2}} = \frac{3,14 \cdot 6,3^2 \cdot 180}{60 \cdot 0,015 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 6,3^2 + 6,5^2}} = 3132 \text{ с}^{-1}.$$

Ефективна в'язкість при температурі розплаву  $190\text{C}^0$  і швидкості зсуву  $2095\text{с}^{-1}$ :

$$\mu_{ef} = 0,75 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{сек} / \text{см}^2.$$

$$N_2 = \frac{10^{-4} \cdot 3,14^3 \cdot 6,3^3 \cdot 0,5 \cdot 76 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{36 \cdot 0,015 \cdot 6,5} = 706,3 \text{ Вт} = 0,706 \text{ кВт}.$$

Ефективна динамічна в'язкість визначається з графічної залежності при температурі розплаву  $190\text{C}^0$  і швидкості зсуву розплаву, обчисленої за формулою:

$$S = \frac{\pi^2 \cdot (D - h_{\bar{n}0}) \cdot (D - 2 \cdot h_{\bar{n}0}) \cdot n}{60 \cdot h_{\bar{n}0} \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot (D - 2h_{\bar{n}0})^2 - t^2}},$$

де  $h_{\text{ср}}$ -середня глибина гвинтового черв'яка:

$$h_{ch} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{0,53 + 0,35}{2} = 0,44 \text{ см}.$$

$$S = \frac{3,14^2 \cdot (6,3 - 0,44) \cdot (6,3 - 2 \cdot 0,44) \cdot 150}{60 \cdot 0,44 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot (6,3 - 2 \cdot 0,44)^2 + 6,5^2}} = 97,2 \text{ с}^{-1}.$$

Ефективна в'язкість при температурі розплаву  $190\text{C}^0$  і швидкості зсуву  $97,2\text{с}^{-1}$ ,  $\mu_{ef} = 0,63 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$N_1 = \frac{10^{-4} \cdot 3,14^3 \cdot (6,5 - 0,5) \cdot 76 \cdot 592 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{36 \cdot 0,063} + \frac{10^{-3} \cdot 22,6 \cdot 370 \cdot 150}{6} = 68220,2 \text{ Вт} = 68,22 \text{ кВт}.$$

Загальна потужність буде дорівнює:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = N_1 + N_2 = 68,22 + 0,706 = 68,93 \text{ кВт}$$

Враховуючи ККД приводу, потужність що споживається буде складати:

$$N = \frac{N}{\eta} = \frac{68,93}{0,88} = 78,33 \text{ кВт.}$$

Вибираємо двигун 2ПФ-250LY4 потужністю 80 кВт.

## 6.2 Розрахунок на міцність деталі черв'ячного екструдера

### 6.2.1 Розрахунок потужності приводу черв'ячного екструдера

Метою розрахунку є визначення працездатності черв'яка.

На черв'як діють такі силові фактори:

- осьове зусилля  $P_{oc}$ ;
- рівномірно розподілене навантаження від власної ваги  $q$ ;
- обертальний момент  $M_{об}$ .

Схема навантаження черв'яка та епюри напружень зображені на рисунку 6.1.

Розраховуємо крутний момент:

$$\dot{I}_{\partial\partial} = \frac{9550 \cdot N}{n} = \frac{9550 \cdot 80}{150} = 5,09 \cdot 10^3 \text{ І} \cdot \dot{\text{і}}.$$

де  $N=80$  –потужність, яка споживається черв'яком, кВт;

$n=150$  - швидкість обертання черв'яка, об/хв.

Осьове зусилля:

$$P_{oc} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D} = \frac{2 \cdot 5,09 \cdot 10^3}{0,063} = 53,1 \text{ кН.}$$

де  $D=0,063$  - зовнішній діаметр черв'яка, м;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$\varphi = 18,19^\circ$  - кут підйому нарізки.

Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{9,81 \cdot G}{l_p} = \frac{9,81 \cdot 45,4}{1,89} = 235,6 \text{ Н / м.}$$

де G- маса черв'яка, кг;

$l_p = 1,89$  - довжина робочої частини, м.

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot l_p = \frac{3,14 \cdot 0,063^2 \cdot 7710 \cdot 1,890}{4} = 45,4 \text{ кг.}$$

$$\dot{I}_{\max} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 235,6 \cdot 1,89^2 = 420,8 \text{ Н м.}$$

$W_x$ - осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,047^3 (1 - 0,29^4)}{32} = 1,01 \cdot 10^{-5}$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

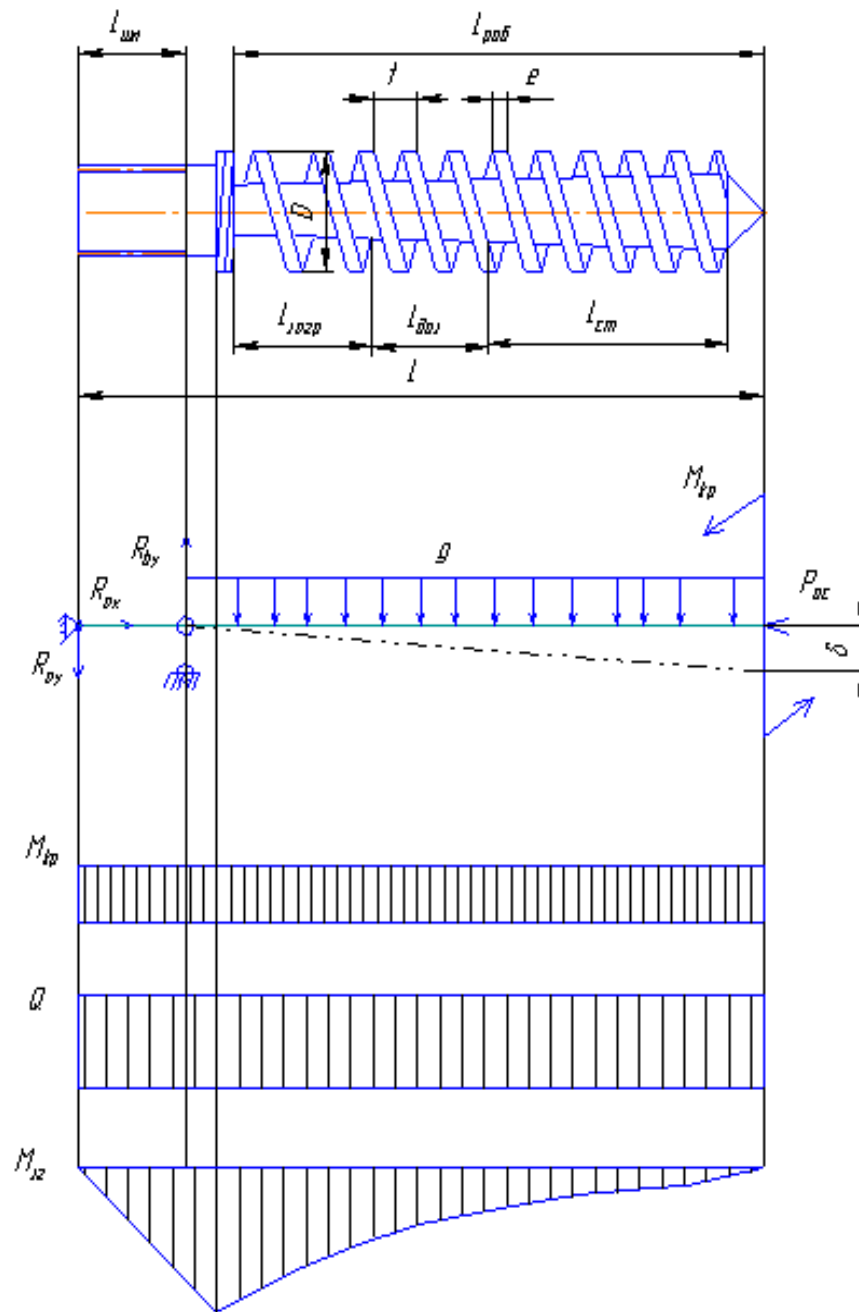


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема шнека та епюри напружень

Стискне напруження:

$$\sigma_{cm} = \frac{P_{oc}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{53,1 \cdot 10^3}{1,23 \cdot 10^{-3}} + \frac{420,8}{1,01 \cdot 10^{-5}} = 84,8 \text{ МПа.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛП61-1.067242.001 ПЗ

Арк.

58

де  $F$ - площа небезпечного перерізу (під завантажувальною воронкою в місці початку нарізки, де найбільші навантаження і найменша площа, без урахування площі перерізу витків):

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,047^2}{4} (1 - 0,29^2) = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = \frac{0,014}{0,047} = 0,29.$$

$d_0$  -діаметр осердя в зоні завантаження;

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{5,09 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-5}} = 252 \text{ МПа}.$$

де  $W_p$ - полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,047^3 \cdot (1 - 0,29^4)}{16} = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за третьою теорією міцності:

$$\sigma_{cm} = \sqrt{\sigma_{cm}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{84,8^2 + 4 \cdot 252^2} = 511 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} \geq [n]$$

Матеріал червяка сталь 38Х2МЮА для якої  $\sigma_t = 880 \text{ МПа}$ .

Значення допустимого коефіцієнта запасу зазвичай 1,6...2 [2].

$$n = \frac{880}{511} = 1,72 \in [1,6; 2]$$

Умова міцності черв'яка виконується.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 6.2.2 Розрахунок черв'яка на кручення

Перевіряємо найбільш слабкий переріз на кручення:

$$N_{\tau} = \frac{\tau_1}{\tau_p \left( \frac{k_{\tau}}{\beta \cdot \varepsilon_{\tau}} + \zeta_{\tau} \right)} = \frac{252 \cdot 10^6}{32,2 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{1,9}{0,9 \cdot 0,59} + 0,05 \right)} = 2,16$$

де  $r_l = 252 \cdot 10^6$  – межа втоми при крученні для сталі 38Х2МЮА, Па;

$\beta = 0,9$  – коефіцієнт стану поверхні;

$K_{\tau} = 1,9$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

$\varepsilon_{\tau} = 0,59$  – коефіцієнт, що враховує вплив змінної складової напруження;

$\zeta = 0,05$  – коефіцієнт, що враховує вплив постійної складової напруження.

Розрахункове напруження кручення

$$\tau_p = \frac{M_{kp}}{2 \cdot W_{ro}} = \frac{5,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 7,9 \cdot 10^{-5}} = 32,2 \text{ МПа.}$$

де  $W_{ro}$  – полярний момент опору крученню перерізу черв'яка з врахуванням жорсткості витків:

$$W_{ro} = 2 \cdot \frac{I}{R} = 2 \cdot \frac{9,278 \cdot 10^{-7}}{0,0235} = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$I = 9,278 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$  – полярний момент інерції перетину черв'яка;

$R = 0,0235$  – радіус сердечника черв'яка.

Підставивши всі значення в формулу, отримуємо запас міцності 2,16, що задовольняє умови.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 6.2.3 Розрахунок черв'яка на жорсткість

Важливим є забезпечення умов жорсткості – максимальний прогин черв'яка повинен бути меншим конструкційного зазору  $\delta_{\forall \max} \geq \delta_k$ .

Вихідні дані : Матеріал черв'яка сталь 38Х2МЮА , діамет черв'яка  $d=63\text{мм}$ , зазор між корпусом і черв'яком  $\delta = 0,15 \text{ мм}$ , Е-модуль пружності ,  $E=2 \cdot 10^5 \text{ Мпа}$ ;  $I=9,278 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$  – полярний момент інерції перетину черв'яка;  $P_{oc} = 53,1 \text{ кН}$ .

Максимальний прогин дорівнює:

$$\delta = \frac{1}{EI} \left[ \frac{q}{k^2} \left( \frac{1}{k^2} + \frac{l_p}{2} \right) - \frac{1}{k} \left( \frac{q}{k^2} + A \cdot l_p \right) \cdot \cos(k \cdot l_p) - \frac{1}{k^2} \left( \frac{q \cdot l_p}{k} - A \right) \cdot \sin(k l_p) \right];$$

де

$$k = \sqrt{\frac{P_{in}}{EI}} = \sqrt{\frac{53100}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,278 \cdot 10^{-7}}} = 0,53;$$

$$A = \frac{q \left[ l_p - \frac{1}{k} \sin(k l_p) \right]}{k \cdot \cos(k l_p)} = \frac{2,35 \cdot \left[ 1,89 - \frac{1}{0,53} \sin(1,89 \cdot 0,53) \right]}{0,53 \cdot \cos(0,53 \cdot 1,89)} = 8,24;$$

Максимальний прогин:

$$\delta_{\max} = \frac{1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,278 \cdot 10^{-7}} \left[ \frac{2,35}{0,53^2} \left( \frac{1}{0,53^2} + \frac{1,89}{2} \right) - \frac{1}{0,53} \left( \frac{1,89}{0,53^2} + 8,24 \cdot 1,89 \right) \cdot \cos(0,53 \cdot 1,89) - \frac{1}{0,53^2} \left( \frac{2,35 \cdot 1,89}{0,53} - 8,24 \right) \cdot \sin(0,53 \cdot 1,89) \right] = 0,08 \text{ мм};$$

Прогин в межах допустимого [2].

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 6.2.4 Розрахунок шліцьового з'єднання

Черв'як з валом вузла упорного підшипника з'єднується шліцьовим евольвентним з'єднанням 60×1,5×9 ГОСТУ 6033-80.

Розрахунок шліцьового з'єднання проводять на зм'яття втулки в місці її зіткнення з бічними поверхнями зубців.

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{кр}}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r_{cp}} \leq [\sigma]_{зм}$$

де  $M_{кр}=5,09$  кН·м – крутячий момент, діє на валу черв'яка,  $[\sigma]_{зм}=60$  МПа – напруження з'єднання що допускається на бічних поверхнях зубцешліцевих з'єднань,

$\psi=0,75$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по зубцях,

$Z=28$  - число зубців,

$L=8,5$  см - робоча довжина уздовж осі валу;

$h$  - робоча висота контактуючих зубців в радіальному напрямі;

$r_{cp}$  - середній радіус, тобто відстань від осі обертання валу до середини висоти зубця:

$$r_{cp} = \frac{D_b + D_a}{4}, \quad h = \frac{D_b - D_a}{2}$$

де  $D_b=6,0$  см - зовнішній діаметр,

$D_a$  - внутрішній діаметр (кола виступів для отворів);

При centruванні по боковим поверхням зубців:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_a = D - 2 \cdot m = 6,3 - 2 \cdot 0,3 = 5,7 \text{ см},$$

$$r_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{6,3 + 5,7}{4} = 3 \text{ мм}, \quad h = \frac{6,3 - 5,7}{2} = 0,3 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{5090}{0,75 \cdot 28 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 3} = 13,5 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{см}} < [\sigma]_{\text{см}}$$

### 6.2.5 Розрахунок міцності болтів

Проведемо розрахунок болтів, що сполучають корпус преса з фільтром, на міцність.

З'єднання здійснюється відкидними болтами М16, кількість болтів - 6, матеріал болтів - Сталь 35ХГСА ГОСТ 4543-71, термообробка 28...32 HRC, з'єднання проводиться з попереднім затягуванням.

Визначаємо розрахункове зусилля при одночасній дії центральної відриваючої сили і зусилля затягування з урахуванням пружних властивостей матеріалу болтів і з'єднань деталей.

З умови збереження щільності стику:

$$P_{\text{зат}} = K \cdot (1 - \lambda) \cdot P,$$

де:  $K$  - коефіцієнт затягування при постійному зовнішньому навантаженні:  $K = 1.3 \dots 1.5$ , приймаємо:  $K = 1.4$ .

$\lambda$  - коефіцієнт основного навантаження для з'єднань із сталевих деталей без прокладки:  $\lambda = 0,2 \dots 0,3$ , приймаємо:  $\lambda = 0,3$ .

$P = 53,1 \text{ кН}$  - осьове зусилля, що діє в циліндрі,

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{зат}} = 1,4 \cdot (1 - 0,3) \cdot 53,1 \cdot 10^3 = 52038 \text{ Н.}$$

Розрахункове навантаження з урахуванням крутячого моменту затягування:

$$P_p = 1,3 \cdot P_{\text{зат}} + \lambda \cdot p = 1,3 \cdot 52038 + 0,3 \cdot 53,1 \cdot 10^3 = 83579,4 \text{ Н.}$$

Навантаження доводиться на один болт:

$$P_z = \frac{P_p}{Z} = \frac{83579,4}{6} = 13929,9 \text{ Н.}$$

де  $Z=6$  - число болтів.

Напруга розтягування, що виникає в болтах:

$$\sigma_p = \frac{P_z}{F} \leq [\sigma],$$

де  $F$  - площа перетину болта М16,

$d_{\text{вн}} = 1,384 \text{ см}$  - внутрішній діаметр різьби М16

$$F = 0,785 \cdot d_b^2 = 0,785 \cdot 1,384^2 = 1,5 \text{ см}^2.$$

$$\sigma_p = \frac{13929,9}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 92,9 \text{ МПа} \leq [\sigma].$$

Визначимо напругу, що допускається, для болтів із сталі 35ХГСА.

$\sigma_t = 280 \text{ МПа}$  - межа текучості сталі 35ХГСА ГОСТ 4543-71, для перетину до 60мм,

$\sigma_b = 350 \text{ МПа}$  - межа міцності цієї сталі.

$$\text{Згідно ГОСТ 12816-80 при } \frac{\sigma_t}{\sigma_b} = \frac{280}{350} = 0,8 \quad [\sigma] = \frac{\sigma_b}{1,5}$$

де  $[\sigma]$  доп - напруга розтягування, що допускається, для болтів

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$[\sigma]_{oon} = \frac{280}{1,5} = 186,6 \text{ МПа.}, \quad \sigma_p \prec [\sigma]$$

Розрахуємо вісь, навколо якої обертається відкидний болт, на зріз. Напруга зрізу:

$$\tau_{cp} = \frac{P}{F} \leq [\tau]_{ch}$$

де  $P=13929,9 \text{ Н}$  - розрахункове навантаження,

$F$  - площа перетину осі,

$d$  - діаметр осі,

$$F = 0.785 \times d = 0.785 \times 1^2 = 0,785 \text{ см}^2,$$

$$\tau_{cp} = \frac{13929,9}{0,785 \cdot 10^{-4}} = 177,5 \text{ МПа} \leq [\tau]_{cp}$$

Матеріал осі - Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, 28...32HRC.

$[\tau]_{cp}=195 \text{ МПа}$  - напруга, що допускається, на зріз для матеріалу осі:

$$\tau_{cp} \prec [\tau]_{cp}$$

### 6.2.6 Розрахунок температурних напруг

Вихідні дані :Внутрішній радіус корпусу  $R_v=31,5 \text{ мм}$  ,зовнішній діаметр корпусу  $R_z=50 \text{ мм}$  , модуль пружності  $E=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  , коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha=1 \cdot 10^{-5} \text{ м/к}$ .

1.Радіальна температурна напруга на стінках циліндра:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_r^t = \frac{E \cdot \alpha (T_3 - T_6)}{2 \cdot (1 - \mu) \ln \frac{R_3}{R_6}} \left( \ln \frac{R_H}{r} + \frac{R_6}{R_3^2 - R_6^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{R_3^2}{R_6^2} \right) \ln \frac{R_3}{R_6} \right);$$

де  $T_H - T_B = 3 \dots 5^\circ\text{C}$ ,

$$\sigma_r^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} \cdot (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( \ln \frac{50}{31,5} + \frac{31,5}{50^2 - 31,5^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{50^2}{31,5^2} \right) \ln \frac{50}{31,5} \right) = 5,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} \cdot (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( \ln \frac{50}{50} + \frac{23}{58^2 - 53^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{50^2}{50^2} \right) \ln \frac{50}{50} \right) = 0 \text{ МПа};$$

2. Тангенціальна напруга:

$$\sigma_\tau^t = \frac{E \cdot \alpha (T_3 - T_6)}{2 \cdot (1 - \mu) \ln \frac{R_3}{R_6}} \left( 1 - 2 \ln \frac{R_H}{r} + \frac{R_6^2}{R_3^2 - R_6^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{R_3^2}{r^2} \right) \ln \frac{R_3}{R_6} \right);$$

$$\sigma_\tau^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} \cdot (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( 1 - 2 \ln \frac{50}{31,5} + \frac{20^2}{55^2 - 40^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{50^2}{31,5^2} \right) \ln \frac{50}{31,5} \right) = 1,45 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\tau^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} \cdot (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( 1 - 2 \ln \frac{50}{50} + \frac{25^2}{34^2 - 30^2} * \right. \\ \left. * \left( 1 - \frac{55^2}{55^2} \right) \ln \frac{50}{31,5} \right) = 8,87 \text{ МПа};$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.Осьова напруга:

$$\sigma_z^t = \frac{E \cdot \alpha (T_3 - T_6)}{2 \cdot (1 - \mu) \ln \frac{R_3}{R_6}} \left( \frac{1 - 2 \ln \frac{R_H}{r}}{\frac{2 R_6^2}{R_3^2 - R_6^2} * \ln \frac{R_3}{R_6}} \right);$$

$$\sigma_z^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( 1 - 2 \ln \frac{50}{31,5} - \frac{2 \cdot 40^2}{31,5^2 - 40^2} * \ln \frac{50}{31,5} \right) = -8,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_z^t = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} (5-1)}{2 \cdot (1-0,3) \ln \frac{50}{31,5}} \left( 1 - 2 \ln \frac{50}{50} - \frac{2 \cdot 31,5^2}{50^2 - 31,5^2} * \ln \frac{50}{50} \right) = 4,25 \text{ МПа};$$

### 4.Сумарні напруги:

Радіальна:

$$\sigma_r = \sigma_r^p + \sigma_r^t;$$

$$\sigma_r = -50 + 5,8 = 44,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r = 0 + 0 = 0 \text{ МПа};$$

Тангенціальні напруги :

$$\sigma_\tau = \sigma_\tau^p + \sigma_\tau^t;$$

$$\sigma_\tau = 115,8 + 1,45 = 117,25 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\tau = 65,8 + 8,87 = 74,67 \text{ МПа};$$

Осьова напруга :

$$\sigma_z = \sigma_z^p + \sigma_z^t;$$

$$\sigma_z = 32,9 - 8,3 = 24,6 \text{ МПа};$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_z = 32,9 + 4,25 = 37,15 \text{ МПа};$$

Сумарне напруження знайдемо за четвертою теорією міцності :

$$\begin{aligned}\sigma_{\Sigma} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3} \leq [\sigma] = \\ &= \sqrt{44,2^2 + 117,25^2 + 24,6^2 - 44,2 * 117,25 - 44,2 * 24,6 - 117,25 * 24,6} = \\ &= 84,5 \text{ МПа} \leq 250 \text{ МПа};\end{aligned}$$

Умови міцності виконуються .

### 6.3 Тепловий розрахунок черв'ячного преса

Тепловий розрахунок даної машини зводиться до розрахунку найбільш відповідального за температурні характеристики елементу - корпусу і черв'яка, який являє собою обичайку до якої підводиться як тепло, так і охолодження.

В даних елементах машини протікають найбільш важливі температурні процеси.

Вихідні дані

Потужність встановленого електродвигуна –  $N = 80 \text{ кВт}$ .

Початкова температура матеріалу –  $t_{\text{поч}} = 20 \text{ C}^\circ$ .

Кінцева температура матеріалу –  $t_{\text{кін}} = 200 \text{ C}^\circ$ .

#### 6.3.1 Розрахунок температурних напруг

Кількість тепла, що необхідно відвести з охолоджувальною водою, визначається рівняння енергетичного балансу : [1, 2]

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{хол.}} = N_{\text{дв.}} - (N_{\text{суміші}} - N_{\text{втрат}}),$$

де  $N_{\text{дв.}}$  – встановлена потужність електродвигуна приводу ;

$N_{\text{сум.}}$  – потужність, що втрачається на нагрівання полімерної суміші ;

$N_{\text{втрат}}$  – втрати потужності в навколишній простір та в приводі машини

$$N_{\text{сум.}} = Q_{\text{сум.}} \cdot 1.16 \cdot 10^{-3},$$

де  $Q_{\text{сум.}}$  – кількість теплоти , що необхідне для нагріву перероблюваної полімерної суміші від  $t$  поч до  $t$  кін. .

$$Q_{\text{сум.}} = G \cdot C_{\text{сум.}} \cdot (t_{\text{кін.}} - t_{\text{поч.}})$$

$$N_{\text{сум.}} = G \cdot C_{\text{сум.}} \cdot (t_{\text{кін.}} - t_{\text{поч.}}) \cdot 1.16 \cdot 10^{-3}$$

$$N_{\text{сум.}} = K \cdot 1 \cdot t = 68 \cdot 2.2 \cdot 180 = 26928 \text{ Вт} = 26.93 \text{ кВт}$$

Для визначення втрат енергії загальний КПД черв'ячної машини  $\eta = 0.7 \dots 0.9$  - коефіцієнт , що враховує втрати енергії в приводі ЧМ .

Втрати потужності

$$N_{\text{пот.}} = N \cdot (1 - \eta) = 80 \cdot (1 - 0.88) = 80 \cdot 0.12 = 9.6 \text{ (кВт.)}$$

$$N_{\text{хол.}} = 80 - (13.9 + 9.6) = 56.5 \text{ (кВт.)}$$

Отримане значення теплової енергії потрібно відвести від перероблюваної полімерної суміші, щоб підтримувати потрібний температурний режим по зонах ЧМ при заданих розмірах охолоджуючих поверхней

### 6.3.2 Енергетичний баланс та тепловий розрахунок

Теплофізичні властивості полімерних сумішей, що перероблюються  
Питома теплоємність для поліетилену:

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{сум.}}=0,36 \text{ ккал/}(\text{кг}\cdot\text{K})=1,5 \text{ кДж/}(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}) ;$$

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda =0.105 \text{ Вт/}(\text{м}\cdot\text{K})$$

Вхідна температура полімеру :

$$T_{\text{вх.}}=20^{\circ}\text{C}$$

Температура полімеру на виході з машини :

$$T_{\text{вих.}}\leq 200^{\circ}\text{C} ;$$

Температура охолоджувального повітря :

$$t_{\text{п}}=25^{\circ}\text{C} ;$$

Охолодження корпусу преса – повітряне від індивідуальних вентиляторів.

Максимальна температура нагріву у вторинному контурі -  $80^{\circ}\text{C}$  .

Кількість тепла, що передається від полімерної суміші до охолоджувального повітря через розділяючі поверхні , знаходимо за основним рівнянням теплопередачі

$$Q_{\text{хол.}}=K\cdot F\cdot \Delta t_{\text{сер}} ,$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі ,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}}$  ;

$F$  – площа поверхні теплообміну ,  $\text{м}^2$  ;

$\Delta t_{\text{сер.}}$  – середньологаритмичний температурний напір між полімерною сумішшю та охолоджувальним повітрям .

Коефіцієнт теплопередачі визначимо за формулою

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot C},$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від полімерної суміші до стінки .

Значення цього коефіцієнта можна орієнтовно прийняти

$$\alpha_1 = 2000 \frac{Вт}{м^2 \cdot C} \quad [2]$$

$\delta_{ст.} = 0,018$  м – товщина тепловіддаючої стінки ;

$$\lambda_{ст.} = 60 \frac{Вт}{м \cdot C} - \text{коефіцієнт теплопровідності стінки ;} \quad [6]$$

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря

$$\alpha_2 = \frac{Nu * \lambda_{..n}}{d_{екв.}},$$

$$\text{де } \lambda_n = 2,689 * 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot C} - \text{коефіцієнт теплопровідності повітря при } 40^\circ C ; \quad [6]$$

$d_{екв.}$  – еквівалентний діаметр охолоджувального каналу , м

$$d_{екв.} = \frac{4 * f_k}{\Pi},$$

$$\text{де } f_k = \frac{\pi * (d_2^2 - d_1^2)}{4} = \frac{3,14 * (0,150^2 - 0,1^2)}{4} = 0,0098 \quad [м^2] \quad - \quad \text{площа перетину}$$

охолоджувального каналу ;

$$\Pi = \pi * d_2 + \pi * d_1 = 3,14 * 0,15 + 3,14 * 0,1 = 0,785 \quad [м]$$

Змочуваний периметр охолоджувального каналу (в поперечному перетині)

$$d_{екв.} = 4 * 0,0098 / 0,785 = 0,05 \quad [м] .$$

Для вибору критеріального рівняння , що визначає значення  $Nu$  , знайдемо режим руху охолоджувального повітря в рубашці секції ЧМ .

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вимушеній течії

$$Re = V_{сер.} * d_{екв.} * \rho / \mu = V_{сер.} * d_{екв.} / \nu,$$

де  $V_{сер.}$  – середня швидкість руху повітря в охолоджувальних каналах.

Попередньо приймемо витрати повітря на одну секцію машини ЧПК 125\*25 орієнтовно 400 м<sup>3</sup>/год. .Тоді швидкість повітря в рубашці охолодження

складатиме :

$$V_B = \frac{G_B}{3600 * f_k} = \frac{400}{3600 * 0,0098} = 11,3 \left[ \frac{м}{с} \right].$$

$\nu = 16,42 * 10^{-6} \frac{м^2}{с}$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при 40° С [6] .

$$\text{Тоді } Re = V_B * d_{екв.} / \nu = \frac{11,3 * 0,05}{16,42 * 10^{-6}} = 34451 .$$

$$34451 > 10000 ,$$

тобто маємо турбулентний режим руху, при якому для визначення Nu рекомендується наступне рівняння [9]

$$Nu = 0.76 * Re^{0.5} Pr_{pid}^{0.43} * \left( \frac{Pr_{pid}}{Pr_{cm.}} \right)^{0.25},$$

де  $Pr_{cm.}$  та  $Pr_{pid.}$  - критерії Прандтля для рідини при температурі стінки та температурі охолоджувального повітря відповідно [9]

$Pr_{pid.} = 0,70013$  при температурі 40° С .

Для визначення  $Pr_{cm.}$  приймаємо попередньо

$$t_{cm.} = t_{в.сер.} + 15^\circ \text{C} = 40 + 15 = 55^\circ \text{C}; Pr_{cm.} = 0,7 [6]$$

$$Nu = 0,76 * 34451^{0.5} * 0,7^{0.43} * \left( \frac{0,7}{0,7} \right)^{0.25} = 121 .$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\alpha_2 = \frac{121 * 2,689 * 10^{-2}}{0,05} = 65 \frac{Вт}{м^2 * ^\circ C}.$$

Середньологаритмічний температурний напір визначимо з наступного рівняння [11, 12]:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{2.3 * Lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}}.$$

$$\Delta t_{\delta} = 200 - 40 = 160 \text{ та } \Delta t_{м} = 60 - 36 = 24.$$

$$\Delta t_{сер} = \frac{160 - 24}{2.3 * Lg \frac{160}{24}} = 71.8^\circ C.$$

Поверхня охолодження ЧП складається з наступних складових:

а) для машини ЧП63х35

$$F_k = \pi * D_H * L * \varphi, \text{ м}^2,$$

де  $D_H = 0,1 \text{ м}$  – зовнішній діаметр циліндра;

$L = 2 \text{ м}$  – довжина циліндра;

$\varphi = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує поверхню, зайняту фланцями

$$F_k = 3,14 * 0,1 * 2 * 0,9 = 0,57 \text{ м}^2;$$

Кількість тепла, що відводиться з охолоджуючим повітрям

$$N_{охол.}^1 = 80 * 0,57 * 71,8 = 32,7 \text{ кВт.}$$

Перевіримо зовнішню  $t_{cm}$  поверхні теплопередаючої стінки ЧМ (ПЕ)

$$N_{охол.}^1 = \alpha_2 * F_{сум.} * (t_{cm} - t_{\epsilon}) = \alpha_2 * F_{сум.} * \Delta t,$$

$$\text{звідки } \Delta t = \frac{N_{охол.}^1}{\alpha_2 * F_M} = \frac{3270}{100 * 0,57} = 57^\circ C.$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{cm} = \Delta t + t_{\pi} = 57 + 39 = 96^{\circ} \text{C},$$

що є задовільно.

Остаточно приймаємо сумарну продуктивність вентиляторів 400м<sup>3</sup>/год.

В даному розділі приведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції преса ЧП 63-35, а саме параметричні, міцнісні та теплові розрахунки.

Визначено основні розміри преса ЧП 63-35.

Визначено максимальну теоретичну продуктивність преса при переробці гранульованого поліпропілену.

Визначено потужність, що витрачається на переробку поліпропілену.

Перевірили черв'як на стійкість та міцність.

Провели тепловий розрахунок червячного преса, в якому був розрахований тепловий баланс преса і загальні втрати тепла у навколишнє середовище.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Приведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції преса ЧП 63-35, а саме параметричні, міцнісні та теплові розрахунки.

Визначено основні розміри черв'яка преса ЧП 63-35.

Визначено максимальну теоретичну продуктивність преса при переробці гранульованого поліпропілену.

Визначено потужність, що витрачається на переробку поліпропілену.

Перевірили черв'як на стійкість та міцність.

Провели тепловий розрахунок червячного преса, в якому був розрахований тепловий баланс преса і загальні втрати тепла у навколишнє середовище.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ III**  
**Технологія машинобудування**

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 Технологія машинобудування

### 7.1 Технологічний процес виготовлення деталі

Метою розділу проекту є розробка технологічного процесу виготовлення деталі – втулки і проектування оснастки (пристрою) для одної з операцій виготовлення деталі. (рисунок 7.1).

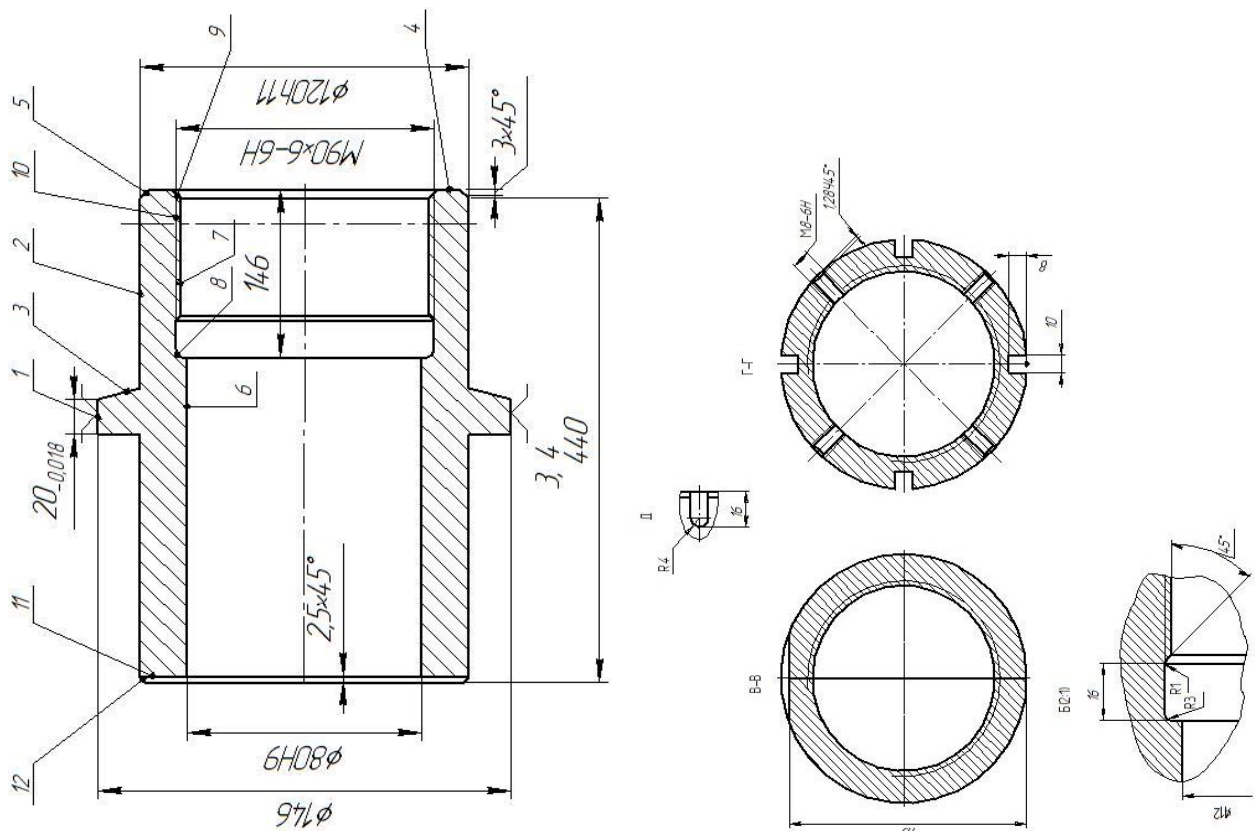


Рисунок 7.1 – Ескіз втулки

В процесі виконання роботи вирішуються такі завдання, як розробка технології виготовлення деталі «втулка», в яке входить вибір методу отримання заготовки (рисунок 6.1), вибір устаткування і інструментів для кожної операції.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

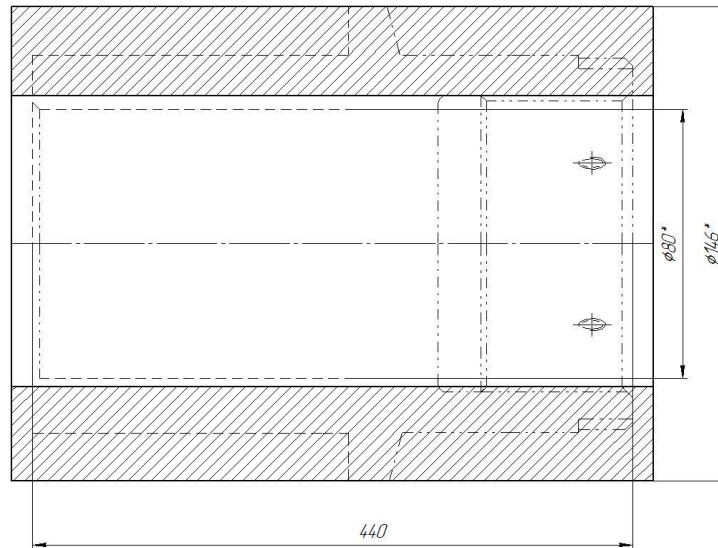


Рисунок 7.2 – Ескіз заготовки. Сталь 40Х

Втулка з'єднує вал редуктора з черв'яком преса. Вал сприймає зусилля від тиску, який виникає в черв'яку, і передає ці сили на корпус. Кришка працює в умовах підвищених температур. Деталь є відповідальною і напруженою. Дефекти внутрішні і зовнішні не допускаються. [1]

Матеріал деталі має достатню пластичність для обробки тиском. Заготовка за формою та розмірами близька до форми та розмірів готової деталі, а це є ознакою технологічності.

Матеріал деталі сталь 40Х [ГОСТ 4543-71](#) добре піддається різанню з використанням стандартних ріжучих матеріалів (твердий сплав, швидкоріжуча сталь). Всі поверхні деталі доступні для ріжучого інструменту. Ступені поверхонь обертання зменшуються в одному напрямку, - це технологічно.

В іншому деталь складається з уніфікованих конструкційних елементів оптимального ступеню точності та шорсткості поверхні, що дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання та стандартну оснастку при добрих технологічних базах.

Технологічний процес виготовлення втулки наведено в маршрутних картах, картах ескізів та операційних картах.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

## 7.2 Вибір пристосування

При виготовленні деталі – втулки здійснюється багато різних операцій. Для кожної з них переважно використовують своє пристосування. Я вибрав одне з них – патрон з жорстким центруючим елементом і трьома прихватами для розточування внутрішньої поверхні. (лист ЛП-21.067242.006 СК)

Патрон з жорстким центруючим елементом і трьома прихватами (рисунок. 7.3) працює наступним чином. Втулка 5, центрується обробленим отвором на пальці, а торцем фланця прилягає до торця кільця 3. Осьовий затиск деталі здійснюється трьома важелями(прихватами) 4, до яких рух від пневмоциліндра передається завдяки тязі 13 і коромислу 11. Для забезпечення рівномірності затиску всіма важелями передбачені сферичні шйби 9 і 10, які дозволяють коромислу качатися. При зворотньому ході тяги 13 кільце 12 тисне на коромисло і переміщує його вправо. При цьому важелі 4 ковзають по сухарях 6, які розміщені у кришці 2 і під дією пружин 8 і плунжерів 7 розкриваються. І звільнюють оброблювану деталь. Для безпеки роботи пристрій вкритий кожухом 1.

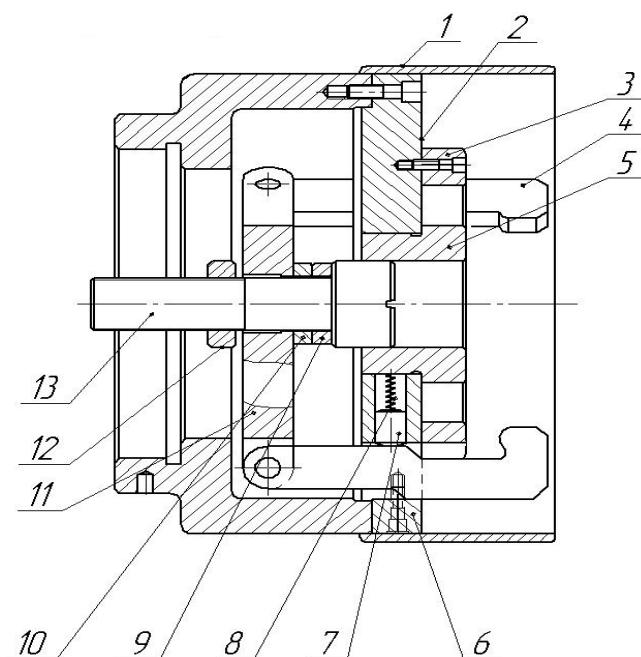


Рисунок 7.3 – Патрон з жорстким центруючим елементом і трьома прихватами.

Закріплення заготовки в патроні виконується за допомогою затискного гвинта.

Визначаємо силу притискання заготовки  $P$  прихватами:

$$P = \frac{2 \cdot M_{MAX} \cdot k}{D \cdot f} = \frac{2 \cdot 14,4 \cdot 3,5}{0,146 \cdot 0,16} = 3579,54 \text{ Н};$$

$M_{MAX}$  – максимальний обертовий момент при свердлінні отвору під різьбу М10-6Н, формула [6].

$$M_{MAX} = 14,4 \text{ Нм}$$

$D$  – діаметр базової поверхні,  $D=0,176 \text{ м}$ ;

$K$  – коефіцієнт запасу,  $k=3,5$  [14,с.85]

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f = 0,16$  [14,с.85]

$\sigma$  – напруження розтягу – стиску матеріалу гвинта,  $\sigma = 9 \cdot 10^7 \text{ Па}$  [13,с.186].

Діаметр затискного гвинта:

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma}} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{3579,54}{9 \cdot 10^7}} = 0,0145 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр гвинта затискаючого механізму Tr 16x2.

Оскільки є три можливих напрямлення зміщення оброблюваної деталі, розрахунок сумарної сили затискання потрібно вести по кожній з них і за розрахункове, приймають максимальне значення:  $Q = \max[Q_O, Q_T, Q_P]$ .

Були прийняті наступні обмеження:

- кулачки і заготовка є абсолютно жорсткими;
- будь-які переміщення заготовки відносно кулачків не допускаються;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- вага заготовки  $G$  не враховується;
- розрахунки виконуються по номінальним розмірам (без врахування похибки форми і розміщення поверхонь);
- вершина різця знаходиться в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання заготовки.

Вихідні дані:

- діаметр заготовки  $D = 146 \text{ мм}$
- довжина  $L = 440 \text{ мм}$
- коефіцієнт тертя  $f = 0,16$ ;
- глибина різання  $t_r = 0,68 \text{ мм}$
- частота обертання шпинделя  $n_{ш} = 400 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ;
- сили різання:  $P_z = 0,7 \text{ кН}$ ,  $P_x = 1,0 \text{ кН}$ .

Приймаємо коефіцієнт надійності закріплення рівним  $k = 2,5$ , а коефіцієнти тертя

$$f_1 = f_2 = f_3 = f.$$

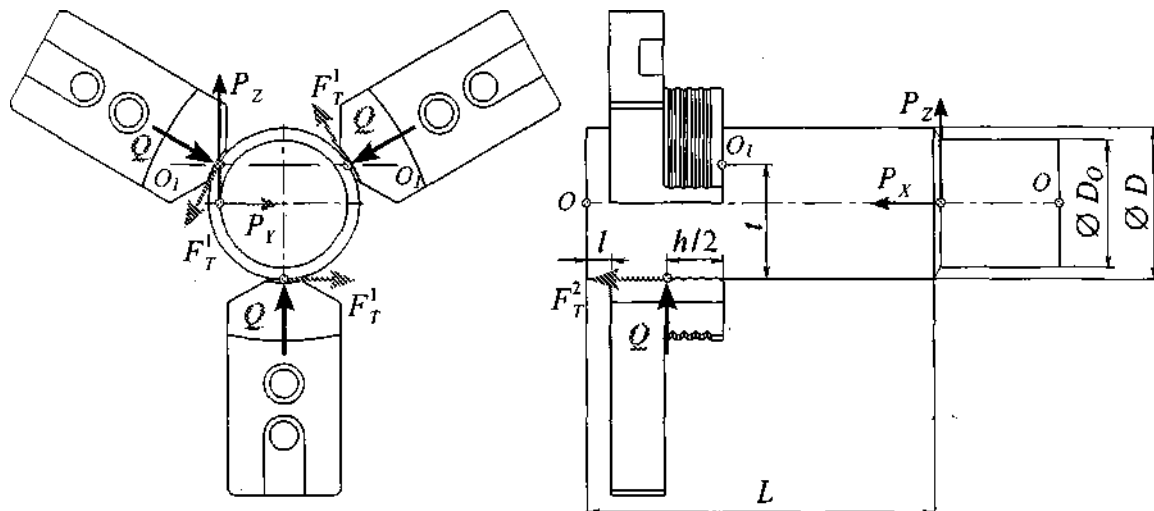
Розрахунок по моменту тертя заготовки в кулачках.

Для попередження провертання заготовки навколо вісі, момент  $M_T$  повинен перевищувати момент від сил різання  $M_R$ , який дорівнює:

$$M_R = P_Z \cdot \frac{D_0}{2} = 700 \cdot \frac{146}{2} = 45.5 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (1)$$

де  $P_Z$  - складова сили різання, Н;

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Риснок 7.4 – Розрахунок сил закріплення

Таким чином, якщо за  $k$  прийняти коефіцієнт надійності закріплення, то виходячи з умов рівноваги заготовки,  $Q_T$  визначиться так:

$$Q_T = k \cdot \frac{P_Z \cdot D_0}{n \cdot f_1 \cdot D} = 2.5 \cdot \frac{700 \cdot 146}{3 \cdot 0.16 \cdot 440} = 3.37 \text{ кН}. \quad (2)$$

Зауваження! При виведенні формули (2) не враховувались сили тертя між торцем заготовки з виступами кулачків (на рис. не показано). В цьому випадку рекомендується вести розрахунок  $Q_T$  по формулі:

$$Q_T = \frac{k \cdot P_Z \cdot \frac{D_0}{2} - P_X \cdot \frac{D_1}{2}}{n \cdot \left( f_1 \cdot \frac{D_0}{2} - f_2 \cdot f_3 \cdot \frac{D_1}{2} \right)} = \frac{2.5 \cdot 700 \cdot \frac{120}{2} - 1000 \cdot \frac{112}{2}}{3 \cdot \left( 0.16 \cdot \frac{120}{2} - 0.16 \cdot 0.16 \cdot \frac{112}{2} \right)} = 2 \text{ кН}, \quad (3)$$

де  $f_2$  - коефіцієнт тертя при зсуві заготовки вздовж кулачків,

$f_3$  - коефіцієнт тертя заготовки з виступами кулачків,

$D_1$  - середній діаметр розміщення площі контакту, м.

Розрахунок по вісьовому зсуву заготовки.

Рух заготовки в даному напрямку можливе при достатньо великих значеннях складової  $P_X$  сили різання (наприклад, при чорновій обробці чи свердлінні), якщо торець чи інші елементи заготовки не забазовані . В цьому випадку:

$$k \cdot P_X = n \cdot F_T^2 = n \cdot Q_P \cdot f_2 \quad \Rightarrow$$

$$Q_P = k \cdot \frac{P_X}{n \cdot f_2} = 2.5 \cdot \frac{1000}{3 \cdot 0.16} = 5.2 \text{ кН}.$$

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Розроблено технологічний процес виготовлення деталі – втулки, яка з'єднує корпус циліндра, в якому розміщений черв'як, з завантажувальною воронкою преса, і спроектовано оснастку (пристрій) для одної з операцій виготовлення деталі, а саме токарне. Провели розрахунок на силу закріплення деталі, розрахунки моменту тертя заготовки в кулачках патрона, сил зсуву.

Розраховані величини знаходяться в допустимих межах і дозволять ефективно і якісно виготовити зазначену деталь.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Л.Б. Радченко Переробка термопластів методом екструзії.-К.: Київ, 1999.-219с.
2. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов/ М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин. Под общ. ред. М. Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.
3. Черв'як екструдера / Мікульонок Ігор Олеговичь [UA], Виноградов Євгеній Юрійович [UA]; Заявка № u200909282, опбл. 11.01.2010.
4. Черв'як екструдера / Возна Анна Сергіївна [UA], Мікульонок Ігор Олегович [UA]; Заявка № u201003725, опбл. 11.10.2010.
5. Черв'як екструдера / Мікульонок Ігор Олегович, [UA], Новік Валерій Олександрович [UA]; Заявка № u2002075454.
6. Змішувальна секція черв'яка екструдера / Ковбаса Катерина Петрівна, [UA], Кучерявий Олександр Павлович [UA], Лукач Юрій Юхимович [UA]; Заявка № u201000340.
7. Черв'як екструдера / Мікульонок Ігор Олегович, [UA], Лукашова Вікторія Володимирівна [UA]; Заявка № u201003543.
8. Основи охорони праці. В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников. —Львів: Афіша, 1999.К. Н. Ткачук, Д. Ф. Іванчук, Р. В. Сабарно, А.Г. Степанов. Справочник по охране труда на промышленных предприятиях—К.: Техніка, 1991.
9. Басов Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства полимерных материалов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович В. – М.: Химия, 1986. – 488 с.
10. Малиновский В.В. Расчеты оборудования химических производств. Примеры и задания. / В.В. Малиновский, И.В. Коваленко. - Киев: УМК ВО, 1988.- 220 с.

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Малиновский В.В. Тепловые процессы в технологии переработки пластмасс. Текст лекций / В.В. Малиновський.- Киев: КПИ, 1980.-68с.

12. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв. Підручник. / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. Київ: "Інрес", "Воля" 2006р.- 261с.

13. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г. Підвищення енергоефективності обертових теплових агрегатів. ВЧЕНІ ЗАПИСКИ ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В.І.ВЕРНАДСЬКОГО Серія: Технічні науки 2018. Том 29 (68). Ч.2. № 4, ст. 68-72. URL: [http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4\\_2018/part\\_2/15.pdf](http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/15.pdf)

14. Щербина В.Ю., Чемерис А.О., Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 38 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>

15. Погорілий О.В., Сідоров Д.Е., Колосов О.Є., Казак І.О.. "Зонований аналіз температурних режимів під час розігрівання пет-преформ". Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2017. N 1. С. 39-43. DOI: [10.20535/2306-1626.1.2017.119467](https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2017.119467)

16. Шилович Т.Б., Малин Е.Д., Блайвас І. Ю. "УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВОЛОГОСТІЙКОГО ТАРНОГО КАРТОНУ". Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2017. N 1. С. 49-52. DOI: [10.20535/2306-1626.1.2017.119471](https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2017.119471)

17. Карвацький А.Я., Мікульонок І.О., Борщик С.О., Караулова В.О. "Моделювання механічних властивостей армованих полімерних матеріалів пакувального призначення". Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2018. N 1. С. 24-32. DOI: [10.20535/2306-1626.1.2018.143371](https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2018.143371).

18. Сокольський О.Л., Івіцький І.І., Олексишен В.О.. "Моделювання течії розплавів полімерів за наявності низьков'язкого пристінного шару". Вісник НТУУ

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

*"КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. N 1. С. 35-40. DOI: [10.20535/2617-9741.1.2019.171033](https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.171033).*

19. Казак І.О. "Аналіз впливу шару накипу на коефіцієнт теплопередачі у горизонтальному кожухотрубному теплообміннику". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. N 1. С. 17-25. DOI: [10.20535/2617-9741.1.2019.170883](https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.170883).*

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**ДОДАТОК А**  
**ТАБЛИЦЯ РОЗГЯНУТИХ ПАТЕНТІВ**

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Черв'як екструдера	Заявка № u200909282, опбл. 11.01.2010  Автори:  Мікульонок Ігор Олегович [UA], Виноградов Євгеній Юрійович [UA]	Метою винаходу є підвищення продуктивності екструдера за рахунок зменшення зворотного потоку розплаву. Шнек має зони живлення, стискання та дозування. Зона дозування виконана з перемінним, по довжині зони об'ємом витків гвинтового каналу. По гребню гвинтової нарізки в зоні дозування або по всій довжині штоку виконана щонайменше одна гвинтова канавка. Канавка розміщена паралельно боковим сторонам гребня нарізки. Спіральні порожнини канавок є додатковим гідравлічним опором для зворотного потоку розплаву. Це приводить до його зменшення і, як наслідок, збільшує продуктивність екструдера.
2	Черв'як екструдера	Заявка № u201003725, опбл. 11.10.2010  Автори:  Мікульонок Ігор Олегович, [UA], Лукашова Вікторія Володимирівна [UA]	Мета винаходу – підвищення якості розплаву. Екструдер має гільзу з вхідним отвором, розташований в гільзі черв'як виконаний у вигляді осердя з гвинтовими гребнями і в зоні пластикації, розташованої зі сторони завантаження матеріалу, і в зоні змішування, розташованої перед вихідним отвором. Між зонами пластикації та змішування встановлений дросельний елемент, виконаний у вигляді ряду кілець зі збільшуваними у напрямку вихідного отвору зовнішніми діаметрами і з виступами на торцевих поверхнях для створення між ними прохідних каналів, сполучених з перепускними каналами, утвореними внутрішніми поверхнями кілець і зовнішньою поверхнею осердя, виконаного з гранями в зоні перепускних каналів, які сполучені з зоною змішування. На черв'яку в зоні змішування виконані поздовжні канавки. Виступи на торцевих поверхнях можуть бути виконані у вигляді багатокутника, наприклад трикутної форми. Запропонована конструкція дозволяє здійснити поступове

			відділення розплаву від нерозплавлених гранул та подачу його в зону змішування без помітної втрати тиску на дроселюю чому елементі, що дозволяє підвищити якість розплаву.
3	Черв'як екструдера	Заявка № u2002075454.  Автори  Мікульонок Ігор Олегович, [UA], Новік Валерій Олександрович [UA]	Розглядається черв'як для змішування, який встановлюється в екструдерах та призначений для збільшення об'єму переробки термопластичних матеріалів. Даний черв'як відноситься до типу бар'єрних черв'яків, має змішувальну секцію, зі збільшеним діаметром розташовану на центральній ділянці валу. По периферійних ділянках секції виконуються багато численні поглиблення (ніші). При обертанні черв'яка матеріал рухається в напрямку, протилежному руху вала та затікає в поглиблення і здійснює при цьому колоподібні рухи, таким чином матеріал переміщується у двох напрямках, що підвищує якість змішування.
4	Змішувальна секція черв'яка екструдера	Заявка № u201000340.  Автори  Ковбаса Катерина Петрівна, [UA], Кучерявий Олександр Павлович [UA], Лукач Юрій Юхимович [UA];	Змішувально-диспергувальна секція черв'яка екструдера містить корпус у вигляді циліндричної втулки з центральним шліцьовим отвором, на зовнішній поверхні якої виконано поздовжні пази, що можуть бути виконані різного поперечного перерізу, сходяться нанівець і відкриті по черзі з одного боку й закриті з іншого, з утворенням між сусідніми пазами розміщених по черзі штовхальних і бар'єрних витків, при цьому діаметр  кола D, описаного навколо вершин штовхальних витків, більший за діаметр кола d, описаного навколо вершин бар'єрних витків. Бар'єрні витки при цьому розміщено паралельно осі циліндричної втулки, а штовхальні витки - під нахилом до осі циліндричної втулки з тим самим напрямком, що і нарізка черв'яка екструдера.  Секція черв'яка екструдера працює в такий

			<p>спосіб.</p> <p>Після потрапляння перероблюваної композиції з робочого каналу черв'яка в пази, відкриті з боку нарізки черв'яка, вона через бар'єрні витки циліндричної втулки у вигляді тонкої плівки перетікає в сусідні пази, відкриті з боку наконечника черв'яка. Завдяки формі пазів композиція в них не затримується, а вчасно виходить із секції і далі потрапляє до формувальної головки (не показано).</p>
5	Черв'як екструдера	<p>Заявка № u201003543.</p> <p>Автори:</p> <p>Вахитов А.М., Уланова Н.Д., Байбулатов В.П.</p>	<p>Пропонована конструкція відрізняється мінімальними змінами від прототипу, дозволяє знизити собівартість екструдіруємих виробів за рахунок зниження шлюбу за їх розмірами та формою.</p> <p>Зазначена мета досягається тим, що перехідна зона містить накопичувальні ділянки у вигляді конусоподібних поверхонь з меншим кутом конуса при вершині, таким чином перетин виробу набуває кілька зон підвищеної щільності, які в своєму протязі забезпечують стабільність форми екструдіруемого виробу в цілому.</p> <p>На наведеному малюнку зображено осьовий переріз формуючої втулки для екструзії полімерної стрічки з ребордами.</p> <p>Формуюча втулка містить Заходне конус з кутом з початком заходу конуса рівним внутрішньому діаметру екструдера, перехідну зону з кутами <math>\alpha</math> і <math>\beta</math>, калібруючу зону до торця втулки, причому перехідна зона містить накопичувальні ділянки у вигляді конусоподібної поверхні з кутом</p>

			конуса при вершині, безпосередньо прилягає до калібруючої зони.
--	--	--	---

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИ ПРОГРАМИ РОЗРАХУЕКУ ПАРАМЕТРІВ

ЧЕРВ'ЯКА

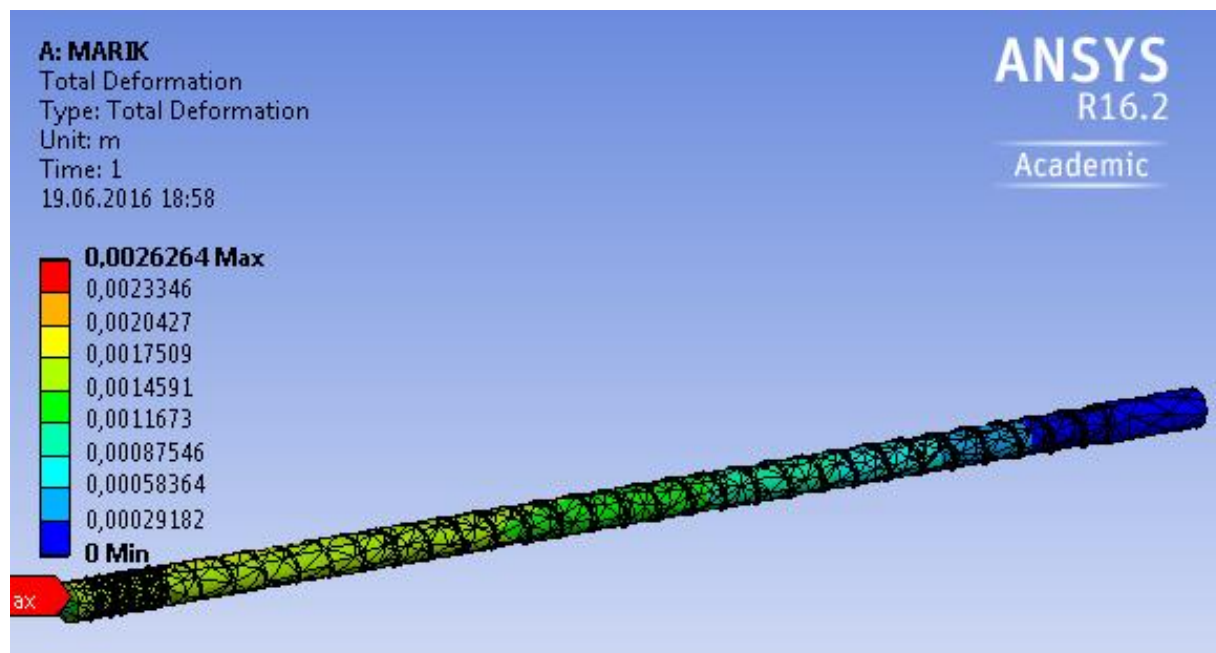


Рисунок Б.1. Деформації черв'яка, які виникають при крутному моменті в 5090 Н·м

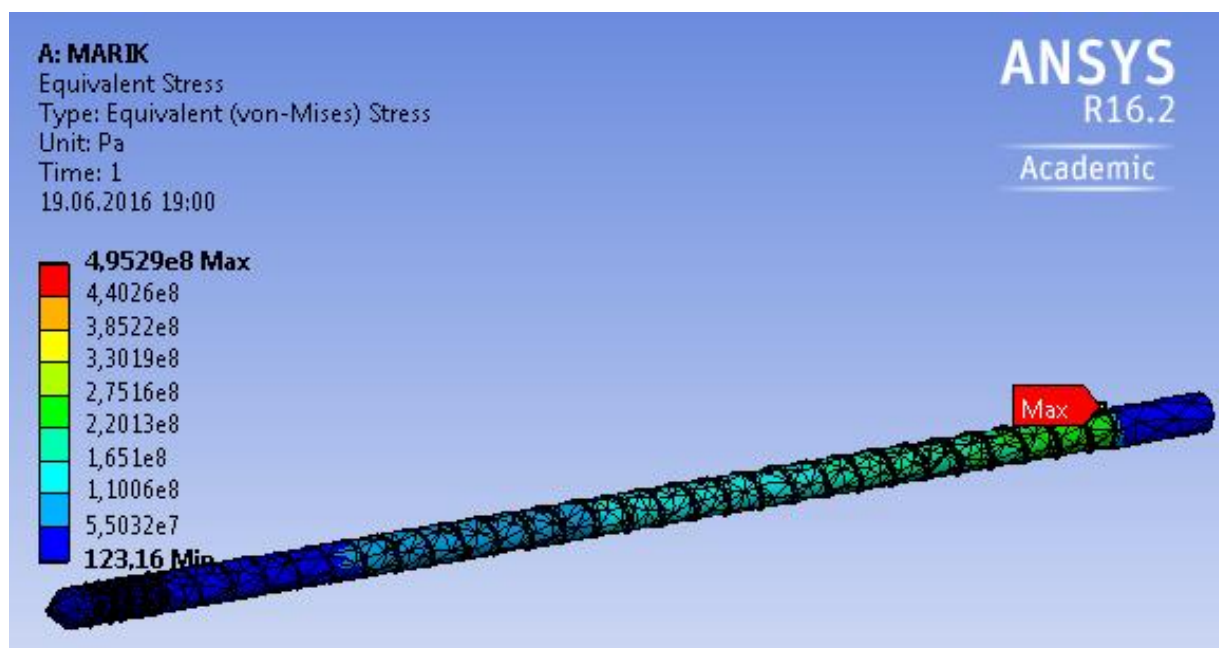


Рисунок Б.2. Напруження черв'яка, які виникають при крутному моменті в 5090 Н·м

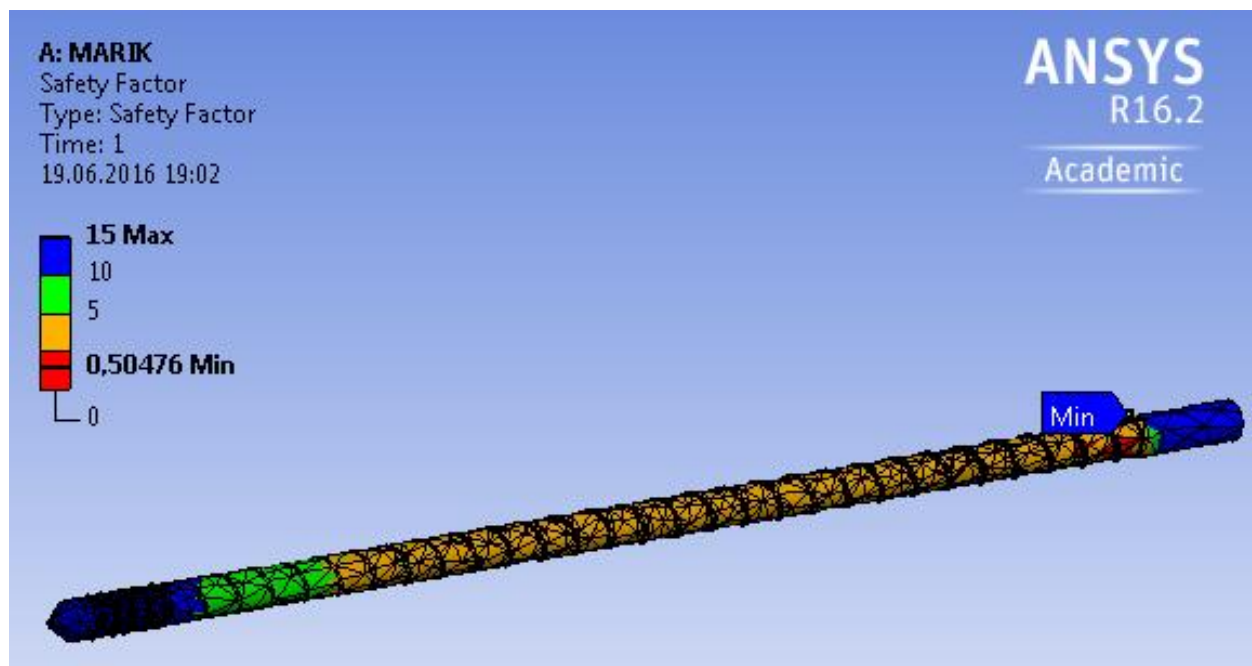


Рисунок Б.3. Коефіцієнт запасу міцності при крутному моменті в 5090 Н·м

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

**ДОДАТОК В**  
**ОСОБИСТІ ДОСЯГНЕННЯ**

					ЛП61-1.067242.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		